

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS CURITIBA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA ÊNFASE EM  
ELETROTÉCNICA

DRAYTON ROGER LEBID  
JÚLIO CÉSAR SECOLO GANACIM

**REFÚGIO TÉRMICO: UMA NOVA SOLUÇÃO DE  
ENGENHARIA PARA A PISCICULTURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2011

DRAYTON ROGER LEBID  
JÚLIO CÉSAR SECOLO GANACIM

## **REFÚGIO TÉRMICO: UMA NOVA SOLUÇÃO DE ENGENHARIA PARA A PISCICULTURA**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado como trabalho de conclusão de curso de Engenharia Industrial Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Carlo Alessandro Zanetti Pece

Co-orientador: Raul Henrique Erthal

CURITIBA

2011

Às nossas famílias.

# AGRADECIMENTOS

Às nossas família pelo apoio, pelo incentivo e pelo carinho nas muitas horas de trabalho.

Mas, especialmente aos nossos pais, Taras Lebid e Moises Oswaldo Ganacim. Ao primeiro, um respeitoso obrigado pelo auxílio e capricho imensos na etapa de construção do protótipo. Uma participação e incentivo que jamais poderemos esquecer. Nos motivou pelo exemplo e foi mais fácil passarmos noites e mesmo nos nossos dias de aniversário debruçados na construção do protótipo. Ao segundo, pela indicação e abertura de contatos, pelos livros conseguidos e pelas confrarias que participamos juntos, em especial a da Tilápia.

Ao nosso caro orientador, Carlo Pece, pela real colaboração e orientação, pelas exigências de prazo, de português, de referências, de qualidade, de participação em feiras e tantas outras coisas. Por estar sempre disposto a nos atender. É inegável a sua presença marcante em todas as etapas do trabalho.

Ao nosso co-orientador, Raul Erthal, por acreditar na idéia. Explorá-la. Nos ajudar a pensar em novas soluções. Incentivar e ao mesmo tempo ponderar sob a luz da razão, e por sempre nos atender de forma tão amigável.

Ao professor Winderson pela participação na banca e pelos comentários valiosos.

Ao professor Ostrensky por nos permitir realizar a sua disciplina de Piscicultura com a turma de Zootecnia da UFPR. Um real incentivador e pesquisador, referência em sua área de atuação. Também agradecemos à própria turma de Zootecnia por nos acolher tão bem.

Por fim, ao nosso Departamento Acadêmico, Daelt, por aceitar a proposta de um projeto multidisciplinar e ao mesmo tempo incentivar o seu desenvolvimento.

É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota. (Theodore Roosevelt)

Atração não é uma escolha. (David de Angelo)

# RESUMO

A espécie *Oreochromis niloticus*, conhecida como Tilápia do Rio Nilo, vive bem a uma temperatura de 18°C a 28°C. Em temperaturas abaixo de 12°C ela morre. A região de Curitiba enfrenta anualmente em torno de 200 horas de frio intenso, abaixo de 7 °C, com um número médio de 10 geadas. Ou seja, com verões brandos e invernos relativamente rigorosos para um peixe de desenvolvimento favorável em águas tropicais. A atividade de tilapicultura tem crescido consideravelmente e o Paraná aparece em destaque no cenário nacional. O refúgio térmico apresenta-se como uma nova solução de engenharia para diminuir a mortalidade pífica em situações de degradação climática do meio de cultivo. Trata-se de uma zona controlada de conforto fisiológico para peixes e projetada para ser anexada ou inserta aos tanques de criação, sendo que possui volume restrito configurando-se como uma região de adensamento populacional destes animais. Para induzir a migração voluntária do cardume para o refúgio vale-se do atributo biológico de os peixes serem animais pecilotérmicos, ou seja, precisarem manter hábitos comportamentais adequados para a manutenção de um padrão de temperatura. A atração, método cunhado como isca térmica, é feita através do desembocamento de um fluxo de água aquecida no sentido do refúgio para o tanque. A validade deste método foi constatada empiricamente por meio de ensaios, através da construção de um protótipo que simula o uso do refúgio. Através de métodos de controle de vazão, pode-se racionalizar o fluxo de água aquecida, que é uma fonte considerável de perdas térmicas. Além do mais, restringir-se a um menor volume permite um condicionamento mais acurado das variáveis de controle e que, conjuntamente com o controle de vazão, avaliza um menor índice de dispêndio energético. Os fatores de qualidade da água ajustados são especificamente a oxigenação e a temperatura.

**Palavras-chave:** Refúgio Térmico, Isca Térmica, Piscicultura, Controle.

# ABSTRACT

The species *Oreochromis niloticus*, known as the Nile tilapia, live well at a temperature of 18 ° C to 28 ° C. At temperatures below 12 ° C it dies. The region of Curitiba faces each year around 200 hours of intense cold, below 7 ° C, with an average of 10 frosts. That is, with mild summers and winters relatively strict for a fish of favorable development in tropical waters. The activity of tilapia culture has grown considerably and the Parana is highlighted on the national scene. The thermal refuge presents itself as a new engineering solution to reduce mortalities flashes in situations of climate degradation of culture medium. It is a comfort zone controlled by physiological fish and designed to be attached or inserted to the rearing tanks, and has restricted volume configured as a region of high density of these animals. To induce voluntary migration of the shoal to the refuge takes advantage of biological attribute of the fish are variegated animals, ie they need to maintain appropriate behavioral habits to maintain a standard temperature. The attraction, thermal method coined as bait, is done by discharging a stream of warm water toward the haven for the tank. The validity of this approach was evidenced by testing, by building a prototype that simulates the use of the refuge. Through methods of flow control can streamline the flow of heated water, which is a considerable source of heat loss. Moreover, restricted to a smaller volume allows a more accurate conditioning of the control variables and that, together with flow control, endorse a lower rate of energy expenditure. The factors of water quality adjusted are specified (a) oxygen and (b) temperature.

**Key-words:** Thermal Refuge, Thermal Bait, Fish Farming, Control.

# LISTA DE TABELAS

|    |                                                                             |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1  | Viscosidade da água de acordo com a temperatura . . . . .                   | 45  |
| 2  | Solubilidade do oxigênio em relação à temperatura . . . . .                 | 48  |
| 3  | Temperatura e a disposição das tilápias . . . . .                           | 64  |
| 4  | Propriedades físicas do oxigênio . . . . .                                  | 75  |
| 5  | Variação da saturação com a temperatura a uma atmosfera . . . . .           | 76  |
| 6  | Diferentes constantes para alguns compostos a 25°C . . . . .                | 76  |
| 7  | Aumento de oxigênio dissolvido em consequência de brusca queda d'água . . . | 85  |
| 8  | Taxa de povoamento pela qualidade de cultivo . . . . .                      | 105 |
| 9  | Peso para alevinos . . . . .                                                | 106 |
| 10 | Constantes da simulação de vazão . . . . .                                  | 109 |
| 11 | Valores das constantes da simulação . . . . .                               | 112 |



# LISTA DE FIGURAS

|    |                                                                                     |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | <i>RaceWays</i> . . . . .                                                           | 39 |
| 2  | <i>RaceWay</i> circular . . . . .                                                   | 39 |
| 3  | Tanques-rede . . . . .                                                              | 40 |
| 4  | Sistema isolado de criação . . . . .                                                | 41 |
| 5  | Densidade da água pela temperatura. . . . .                                         | 44 |
| 6  | Vista lateral 1 da tilápia-do-nilo. . . . .                                         | 50 |
| 7  | Vista ventral da tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) . . . . .         | 51 |
| 8  | Vista frontal da boca da tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) . . . . . | 52 |
| 9  | Vista ventro-lateral da tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) . . . . .  | 52 |
| 10 | Tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) dissecada . . . . .                | 53 |
| 11 | Arco branquial da tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) . . . . .        | 53 |
| 12 | Tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ). . . . .                           | 54 |
| 13 | Tanque de ensaios . . . . .                                                         | 58 |
| 14 | Esquema de ligação elétrica do aquário. . . . .                                     | 61 |
| 15 | Leitura dos termômetros. . . . .                                                    | 63 |
| 16 | Vista superior: termômetros dentro do aquário de testes. . . . .                    | 65 |
| 17 | Quantidade de tilápias no refúgio. . . . .                                          | 66 |
| 18 | Resistência térmica . . . . .                                                       | 72 |
| 19 | Ciclo do oxigênio no meio aquático . . . . .                                        | 75 |
| 20 | Refúgio Térmico . . . . .                                                           | 79 |
| 21 | Etapa 01 . . . . .                                                                  | 80 |

|    |                                                                           |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 22 | Etapa 03 . . . . .                                                        | 81  |
| 23 | Regiões de fuga de energia térmica . . . . .                              | 95  |
| 24 | Fluxo de calor pela parede em contato com a terra ( Detalhe A ) . . . . . | 95  |
| 25 | Fluxo de calor pelo teto ( Detalhe B ) . . . . .                          | 97  |
| 26 | Aerador Aquamix B-301 . . . . .                                           | 107 |
| 27 | Diagrama em Simulink <sup>TM</sup> para a equação da vazão . . . . .      | 110 |
| 28 | Resposta do nível da água em relação ao tempo . . . . .                   | 110 |
| 29 | Modelo em Simulink <sup>TM</sup> para a equação da temperatura . . . . .  | 111 |
| 30 | Comportamento geral da equação diferencial térmica . . . . .              | 113 |
| 31 | Curva de tempo para temperaturas de conforto . . . . .                    | 114 |
| 32 | Manutenção da temperatura com mesma potência . . . . .                    | 115 |
| 33 | Ensaio com os sensores capacitivos – Equipamento . . . . .                | 135 |
| 34 | Ensaio com os sensores capacitivos – Realizando o ensaio . . . . .        | 136 |
| 35 | Sistema de controle térmico . . . . .                                     | 138 |
| 36 | Circuito elétrico representativo . . . . .                                | 143 |
| 37 | Circuito representativo do sistema de oxigênio do refúgio . . . . .       | 144 |
| 38 | Precipitação do mês de Janeiro . . . . .                                  | 147 |
| 39 | Precipitação do mês de Junho . . . . .                                    | 148 |
| 40 | Precipitação anual . . . . .                                              | 148 |
| 41 | Temperatura do mês de Dezembro . . . . .                                  | 149 |
| 42 | Temperatura do mês de Junho . . . . .                                     | 149 |
| 43 | Temperatura anual . . . . .                                               | 150 |
| 44 | Insolação total anual . . . . .                                           | 150 |
| 45 | Horas de frio abaixo de 7°C . . . . .                                     | 151 |
| 46 | Mapa de potencial eólico do estado do Paraná . . . . .                    | 151 |

# LISTA DE SÍMBOLOS

|           |                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| $q$       | Energia térmica                                         |
| $m$       | Massa                                                   |
| $c$       | Calor específico                                        |
| $T$       | Temperatura                                             |
| $\Delta$  | Variação de uma grandeza                                |
| $p$       | Pressão                                                 |
| $\dot{q}$ | Taxa de transferência de calor                          |
| $\dot{E}$ | Energia                                                 |
| $L$       | Comprimento                                             |
| $k$       | Constante de condução térmica de um material específico |
| $A$       | Área de contato, condução ou de uma seção               |
| $R$       | Resistência térmica ou elétrica                         |
| $h$       | Coefficiente de transferência de calor por convecção    |
| $C_t$     | Capacitância térmica                                    |
| $K_i$     | Constante de proporcionalidade da lei de Henry          |
| $x_i$     | Fração molar                                            |
| $V$       | Velocidade de um líquido                                |
| $H$       | Altura                                                  |
| $\rho$    | Densidade volumétrica                                   |
| $\mu$     | Coefficiente de viscosidade                             |
| $\Psi$    | Vazão                                                   |
| $g$       | Aceleração da gravidade ao nível do mar                 |

# LISTA DE ACRÔNIMOS

|         |                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| SEBRAE  | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas     |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                  |
| SIMEPAR | Sistema Meteorológico do Paraná                              |
| SEMA    | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos    |
| IAP     | Instituto Ambiental do Paraná                                |
| COPEL   | Companhia Paranaense de Energia                              |
| EMATER  | Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural |
| FAO     | <i>Food and Agriculture Organization</i>                     |
| IAPAR   | Instituto Agrônômico do Paraná                               |

# SUMÁRIO

|        |                                                                     |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1    | Tema . . . . .                                                      | 20 |
| 1.1.1  | Delimitação do tema . . . . .                                       | 20 |
| 1.2    | Problemas e premissas . . . . .                                     | 22 |
| 1.3    | Objetivos . . . . .                                                 | 25 |
| 1.3.1  | Objetivo geral . . . . .                                            | 25 |
| 1.3.2  | Objetivos específicos . . . . .                                     | 26 |
| 1.4    | Justificativa . . . . .                                             | 27 |
| 1.5    | Procedimentos metodológicos. . . . .                                | 30 |
| 1.5.1  | Delimitação do tema . . . . .                                       | 30 |
| 1.5.2  | Contexto histórico-econômico . . . . .                              | 30 |
| 1.5.3  | Fatores ambientais . . . . .                                        | 30 |
| 1.5.4  | Cartas climáticas . . . . .                                         | 31 |
| 1.5.5  | Projeto do protótipo de validação comportamental . . . . .          | 31 |
| 1.5.6  | Construção do protótipo de validação comportamental . . . . .       | 31 |
| 1.5.7  | Validação empírica da hipótese biológica . . . . .                  | 31 |
| 1.5.8  | Fundamentação teórica . . . . .                                     | 32 |
| 1.5.9  | Realidade local da piscicultura . . . . .                           | 32 |
| 1.5.10 | Modelagem matemática . . . . .                                      | 32 |
| 1.5.11 | Simulação computacional . . . . .                                   | 32 |
| 1.5.12 | Subsídios técnicos para a definição da conformação física . . . . . | 32 |
| 1.5.13 | Estratégias de continuidade do projeto . . . . .                    | 33 |

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 1.5.14   | Estrutura do trabalho . . . . .                       | 33        |
| <b>2</b> | <b>ASPECTOS HISTÓRICOS</b>                            | <b>36</b> |
| 2.1      | Histórico da piscicultura . . . . .                   | 36        |
| 2.2      | Desenvolvimento sustentável . . . . .                 | 37        |
| 2.3      | Piscicultura intensiva . . . . .                      | 37        |
| 2.3.1    | Raceways . . . . .                                    | 38        |
| 2.3.2    | Tanques rede . . . . .                                | 38        |
| 2.3.3    | Sistemas fechados . . . . .                           | 40        |
| 2.4      | Integração da aquicultura com a agricultura . . . . . | 40        |
| 2.5      | Piscicultura na região sul do Brasil . . . . .        | 41        |
| <b>3</b> | <b>CONDIÇÕES DE CONTORNO</b>                          | <b>43</b> |
| 3.1      | Tópicos de limnologia . . . . .                       | 43        |
| 3.1.1    | Densidade . . . . .                                   | 43        |
| 3.1.2    | Viscosidade . . . . .                                 | 44        |
| 3.1.3    | Tensão superficial . . . . .                          | 45        |
| 3.1.4    | Transparência . . . . .                               | 45        |
| 3.1.5    | Movimentação . . . . .                                | 46        |
| 3.1.6    | Temperatura . . . . .                                 | 46        |
| 3.1.7    | Gases dissolvidos . . . . .                           | 47        |
| 3.1.8    | Potencial de hidrogênio iônico . . . . .              | 49        |
| 3.1.9    | Condutividade elétrica . . . . .                      | 49        |
| 3.2      | Tópicos de ictiologia . . . . .                       | 49        |
| 3.3      | Levantamento de dados climatológicos . . . . .        | 54        |
| 3.3.1    | Índices de precipitação . . . . .                     | 55        |
| 3.3.2    | Temperatura da atmosfera . . . . .                    | 55        |

|         |                                                                  |    |
|---------|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3   | Índices de insolação . . . . .                                   | 56 |
| 3.3.4   | Horas de dia frio abaixo de 7°C e dias de geada por ano. . . . . | 56 |
| 3.3.5   | Direção do vento . . . . .                                       | 57 |
| 3.4     | Ensaio de validação comportamental . . . . .                     | 57 |
| 3.4.1   | Aquário de testes . . . . .                                      | 57 |
| 3.4.2   | Metodologia . . . . .                                            | 60 |
| 3.4.3   | Resultados observados . . . . .                                  | 62 |
| 3.5     | Formulação do problema . . . . .                                 | 67 |
| 4       | FUNDAMENTOS TEÓRICOS                                             | 68 |
| 4.1     | Escoamento de fluídos incompressíveis sem viscosidade . . . . .  | 68 |
| 4.1.1   | Equação de Bernouilli . . . . .                                  | 68 |
| 4.2     | Transferência de calor . . . . .                                 | 69 |
| 4.2.1   | Condução . . . . .                                               | 69 |
| 4.2.1.1 | Conservação da energia e campo de temperaturas . . . . .         | 70 |
| 4.2.1.2 | Resistência térmica na condução . . . . .                        | 71 |
| 4.2.2   | Convecção . . . . .                                              | 72 |
| 4.2.2.1 | Lei de Newton da convecção . . . . .                             | 72 |
| 4.2.2.2 | Resistência térmica na convecção . . . . .                       | 73 |
| 4.2.3   | Capacitância térmica . . . . .                                   | 73 |
| 4.3     | Solubilidade do oxigênio na água . . . . .                       | 74 |
| 4.3.1   | Introdução . . . . .                                             | 74 |
| 4.3.2   | Oxigênio . . . . .                                               | 74 |
| 4.3.3   | Oxigênio dissolvido (OD) . . . . .                               | 75 |
| 4.3.4   | Lei de Henry . . . . .                                           | 76 |
| 4.3.5   | Estratificação . . . . .                                         | 77 |

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 5       | MODELAGENS                                                  | 78 |
| 5.1     | Concepção Física . . . . .                                  | 78 |
| 5.1.1   | Etapas de Funcionamento . . . . .                           | 78 |
| 5.1.1.1 | Etapa 1: Aquecimento d'água sem fluxo de massa. . . . .     | 79 |
| 5.1.1.2 | Etapa 2: Funcionamento do sistema de vazão. . . . .         | 80 |
| 5.1.1.3 | Etapa 3: Situação de Regime. . . . .                        | 81 |
| 5.1.2   | Características Morfológicas . . . . .                      | 81 |
| 5.2     | Caracterização matemática . . . . .                         | 83 |
| 5.3     | Modelagem hidráulica . . . . .                              | 84 |
| 5.3.1   | Modelo para o controle de vazão . . . . .                   | 84 |
| 5.3.2   | Hipóteses simplificadoras . . . . .                         | 85 |
| 5.3.2.1 | Compressibilidade . . . . .                                 | 85 |
| 5.3.2.2 | Viscosidade . . . . .                                       | 85 |
| 5.3.2.3 | Vazão (fluxo) irrotacional . . . . .                        | 86 |
| 5.3.2.4 | Fluxo constante . . . . .                                   | 86 |
| 5.3.3   | Equações diferenciais do movimento de massas . . . . .      | 86 |
| 5.3.4   | Linearização das equações . . . . .                         | 89 |
| 5.3.4.1 | Expansão em série de Taylor . . . . .                       | 90 |
| 5.3.5   | Funções de transferência para o modelo de vazão . . . . .   | 91 |
| 5.3.5.1 | Soluções das equações do modelo de vazão estabelecido . . . | 92 |
| 5.3.5.2 | Solução analítica . . . . .                                 | 93 |
| 5.3.5.3 | Variável de saída em relação à vazão . . . . .              | 93 |
| 5.4     | Modelagem térmica . . . . .                                 | 94 |
| 5.4.1   | Modelagem das perdas térmicas . . . . .                     | 94 |
| 5.4.1.1 | Perda de calor por condução e convecção . . . . .           | 95 |
| 5.4.1.2 | Perdas de calor devido ao transporte de massa. . . . .      | 98 |



|          |                                                              |            |
|----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.1.3  | Perdas totais . . . . .                                      | 99         |
| 5.4.2    | Equação geral . . . . .                                      | 99         |
| 5.4.3    | Funcionamento do modelo . . . . .                            | 99         |
| 5.4.3.1  | Situação de regime . . . . .                                 | 99         |
| 5.4.3.2  | Situação de aquecimento . . . . .                            | 100        |
| 5.4.4    | Função de transferência para o modelo térmico. . . . .       | 100        |
| 5.5      | Consumo mássico de oxigênio . . . . .                        | 102        |
| 6        | <b>DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÕES</b>                          | <b>103</b> |
| 6.1      | Dimensionamento do volume do refúgio . . . . .               | 103        |
| 6.1.1    | Estrutura lógica para o dimensionamento do refúgio . . . . . | 103        |
| 6.1.1.1  | Dimensões de um viveiro típico paranaense . . . . .          | 104        |
| 6.1.1.2  | Sistema de cultivo . . . . .                                 | 104        |
| 6.1.1.3  | Taxa de Povoamento . . . . .                                 | 104        |
| 6.1.1.4  | Biomassa total . . . . .                                     | 104        |
| 6.1.1.5  | Número de peixes . . . . .                                   | 105        |
| 6.1.1.6  | Nível estocagem máxima . . . . .                             | 106        |
| 6.1.1.7  | Capacidade do refúgio . . . . .                              | 106        |
| 6.1.1.8  | Consumo mássico de oxigênio . . . . .                        | 106        |
| 6.1.1.9  | Geometria do Refúgio . . . . .                               | 107        |
| 6.1.1.10 | Renovação de água . . . . .                                  | 107        |
| 6.1.1.11 | Grandezas dos sistemas de vazão e térmico . . . . .          | 108        |
| 6.2      | Simulação de vazão . . . . .                                 | 108        |
| 6.3      | Simulação térmica . . . . .                                  | 110        |
| 6.3.1    | Comportamento geral . . . . .                                | 112        |
| 6.3.2    | Situação de aquecimento . . . . .                            | 113        |

|         |                                                                     |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.3   | Situação de regime . . . . .                                        | 114 |
| 6.3.4   | Consumo energético . . . . .                                        | 115 |
| 6.3.4.1 | Gasto tarifário . . . . .                                           | 116 |
| 6.3.4.2 | Ordem de grandeza anual . . . . .                                   | 116 |
| 7       | Comentários e Conclusão . . . . .                                   | 117 |
| 7.1     | Comentários . . . . .                                               | 117 |
| 7.2     | Conclusão . . . . .                                                 | 120 |
| 8       | Desdobramentos . . . . .                                            | 121 |
| 8.1     | Aplicações do refúgio térmico diretamente na Piscicultura . . . . . | 122 |
| 8.1.1   | Homogeneidade e separação de lote . . . . .                         | 122 |
| 8.1.2   | Despesca . . . . .                                                  | 123 |
| 8.1.3   | Abate por choque elétrico . . . . .                                 | 123 |
| 8.1.4   | Outras espécies de peixes na região Sul e Sudeste . . . . .         | 123 |
| 8.1.5   | Outras espécies de peixes na região Norte e Nordeste . . . . .      | 124 |
| 8.1.6   | Aplicação científica . . . . .                                      | 124 |
| 8.1.7   | Acessório contra predadores e sistema presa-predador . . . . .      | 124 |
| 8.2     | Diferenciação entre Refúgio Térmico e Estufa . . . . .              | 125 |
| 8.3     | Aplicações de refúgio térmico no reino animalia . . . . .           | 125 |
| 8.3.1   | Criação de Rãs . . . . .                                            | 125 |
| 8.3.2   | Criação de Camarão . . . . .                                        | 126 |
| 8.3.3   | Refúgio para a aquicultura em geral . . . . .                       | 126 |
| 8.4     | Continuidade acadêmica e empreendedora do projeto . . . . .         | 126 |
| 8.4.1   | Continuidade acadêmica . . . . .                                    | 126 |
| 8.4.2   | Continuidade empreendedora . . . . .                                | 128 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Referências                                                          | 129 |
| Glossário                                                            | 132 |
| Apêndice A – Ensaio com sensor capacitivo                            | 134 |
| A.1 Introdução . . . . .                                             | 134 |
| A.2 Metodologia . . . . .                                            | 134 |
| A.3 Resultados . . . . .                                             | 135 |
| Apêndice B – Modelo de sistema de trocadores de calor para o refúgio | 138 |
| Apêndice C – Modelo alternativo para oxigenação                      | 142 |
| C.1 Modelo em analogia ao circuito elétrico . . . . .                | 142 |
| C.1.1 Aspectos gerais . . . . .                                      | 142 |
| C.1.2 Circuito elétrico representativo . . . . .                     | 142 |
| C.1.3 Discussão sobre a representatividade das grandezas . . . . .   | 143 |
| C.1.4 Funcionamento do modelo temporizado . . . . .                  | 145 |
| C.1.5 Temporização da chave . . . . .                                | 145 |
| C.1.6 Equacionamento do modelo . . . . .                             | 146 |
| Anexo A – Cartas climáticas do Paraná                                | 147 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema

### 1.1.1 Delimitação do tema

Segundo Ono e Kubitza(2003), aquicultura, cultivo de espécies aquáticas, é o segmento de produção animal que mais cresce no mundo. A piscicultura, que é o cultivo de peixes em água doce, representa 60% desse total. Em 2006, conforme dados do IBAMA (2008), a produção aquícola brasileira foi de 272 mil toneladas, quantidade considerada baixa diante do potencial do país. Nota-se, no entanto, que a simples importação de tecnologia não foi suficiente para alavancar essa atividade.

Este trabalho apresenta uma alternativa para melhorar as condições de criação de peixes de água doce em pequenos tanques da região metropolitana de Curitiba, utilizando conhecimentos técnicos de engenharia elétrica. Desta forma, as principais variáveis abióticas para o desenvolvimento adequado dos peixes serão monitoradas e ajustadas com o objetivo de minimizar a interferência humana e aumentar a chance de sobrevivência destes em situações climatológicas críticas.

A idéia é que o controle das variáveis não seja feito em todo o tanque, mas sim de forma restrita em um compartimento termicamente isolado, estrategicamente localizado, aqui batizado como refúgio térmico. Restringir-se a um menor volume garante precisão no condicionamento dos critérios ambientais e possibilita também a concepção de um projeto que requeira baixa potência para seu funcionamento.

Vale salientar que o julgamento da viabilidade da concepção do aparato tecnológico, que é o refúgio térmico, não teria como premissa fundamental questões de ordem técnica, do ponto de vista da engenharia, mas sim de ordem biológica, ou seja, do comportamento dos peixes.

Antes de empregar-se tecnologia para o desenvolvimento de qualquer complexo houve a ne-

cessidade da verificação da hipótese de os peixes se abrigarem, voluntariamente, em um confinamento de dimensões restritas comparativamente à totalidade do tanque de criação. Compartimento este que fosse termicamente mais atrativo à fisiologia destes em situações de deterioração climática do meio externo de cultivo.

O sistema desenvolvido para a verificação empírica da hipótese de os peixes serem atraídos por um fluxo de água quente desembocante da região confinada para o meio de cultivo, bem como os procedimentos de ensaio e os resultados são descritos no item 3.4 deste trabalho (Ensaio de Validação Comportamental).

Se o insumo energético para o aparato não se configurar como um agente complicador, do ponto de vista econômico, permitirá a aplicação do sistema em localidades remotas, aumentando o nível de aceitação entre os produtores de Curitiba e, quiça, da Região Sul.

A energia utilizada para suprir a demanda elétrica desse sistema, exceto em casos de calculada impossibilidade, deverá ser proveniente de fonte própria, independente da rede elétrica principal. As características de tal fonte devem ser avaliadas de acordo com as condições locais, tais como nível de incidência solar e potencial eólico. As características climáticas paranaenses são discutidas no item 3.3 (Levantamento de dados Climatológicos).

Analisa-se ainda usar os insumos de fácil acesso nas regiões onde os tanques de piscicultura se inserem, como madeira ou gás metano proveniente da fermentação de excrementos de animais, ao invés de eletricidade para os processos que necessitem de energia térmica, tal como no modelo do trocador de calor (item 5.2.4.1).

Dentre os principais critérios ambientais que precisam estar ajustados destacam-se os níveis de oxigênio, nitrogênio e fósforo, além da temperatura, alcalinidade, dureza, turbidez mineral, pH e nível de eutrofização (disponibilidade de nutrientes) do meio de cultivo, os quais configuram como fatores limitantes do nível populacional písceo.

Claramente, este trabalho não tem a pretensão de interferir em todas as variáveis relacionadas à produção de peixes em tanques, mas sim matizar parcialmente este processo pela inserção de um ambiente controlado. O controle mais amplo das variáveis do projeto foi definido como estratégia de continuidade deste TCC, como, por exemplo, em um programa de pós-graduação em nível de mestrado.

Aqui, o desafio será especificamente o condicionamento dentro do refúgio de duas grandezas abióticas relacionadas à qualidade da água, tais aspectos serão discutidos no item 3.1 (Tópicos de Limnologia), e que se configuram como os principais agentes limitantes do desen-

volvimento dos peixes, além de causadores da mortandade destes: (a) temperatura e (b) nível de oxigenação da água.

Outro ponto a se destacar é inevitabilidade de se restringir o objeto de estudo à caracterização do ambiente para uma única espécie de peixe, pois seria inviável do ponto de vista metodológico o desenvolvimento de um estudo generalista. Portanto, entre algumas espécies tais como a Carpa e o Tambaqui, a escolhida para o condicionamento das variáveis abióticas do viveiro é a *Oreochromis niloticus* conhecida como Tilápia-do-rio-nilo.

## 1.2 Problemas e premissas

Fazer a interação entre duas áreas distintas como a engenharia elétrica e a piscicultura envolve uma etapa de fundamentação teórica e adaptação acadêmica, pois há a manipulação de tópicos de uma série de disciplinas, tais como: teoria de controle, geração de energia, mecânica dos fluidos, fenômenos do transporte, limnologia, ictiologia, química e biologia, que devem se inter-relacionar.

Quaisquer processos de engenharia que se proponham a otimizar os fatores abióticos de um determinado habitat tendem a ser muito dinâmicos, esse fato é consequência da própria definição de ecossistema como um conjunto de comunidades interagindo entre si e agindo sobre e/ou sofrendo a ação dos fatores abióticos. Ou seja, as relações são sempre mútuas, o meio interfere nas espécies que nele coexistem e as espécies no meio.

Dada a complexidade de um ecossistema e a interdependência dos fatores, a exemplo da variação da solubilidade do oxigênio na água devido ao recrudescimento da temperatura, as informações precisam, assim como as interações dentro de um habitat, serem avaliadas numa relação mútua, o que vêm a aumentar o grau de refinamento da planta de controle.

Restringir o novo ecossistema na otimização das variáveis abióticas ao refúgio térmico, que possui volume muito menor em relação ao tanque de criação, além de permitir maior acurácia no condicionamento dos fatores, corrobora com a estimativa de uma baixa demanda energética deste conjunto.

Todavia, o refúgio térmico só teria aplicação caso fosse encontrada alguma forma de atrair os peixes e que estes se alocassem voluntariamente nesse comportamento até a melhora das condições climáticas locais. Essa problemática fundamentou a hipótese comportamental chave para o exercício do refúgio: os peixes migram voluntariamente para uma zona de conforto fisiológico quando da degradação climática do meio externo de cultivo? Tal hipótese necessitaria,

entratanto, de uma investigação empírica de sua validade.

O atributo biológico que aduz à veracidade dessa hipótese e que, ao menos teoricamente, permitiria supor que o cardume migrasse para uma zona de bem-estar fisiológico, principalmente no que tange à temperatura, advém das características anatômicas dos peixes por serem animais piscilotérmicos. Ou seja, por não possuírem mecanismos internos que regulem a temperatura do seu corpo, estes animais precisam manter hábitos comportamentais que lhes permitam a manutenção de um nível de temperatura adequado à sua fisiologia.

Valendo-se dessas características fisiológicas, a atração dos peixes é feita através do desembocamento de um fluxo de água aquecida no sentido do refúgio para o tanque de criação. Este método foi chamado de isca térmica. Através de controle de vazão pode-se racionar essa transferência de água, de forma que a "iscagem térmica" seja viabilizada com um menor índice de dispêndio energético.

A utilização de fontes renováveis para a alimentação elétrica do conjunto vai ao encontro do ideal de funcionalidade e aplicabilidade mesmo em localidades remotas, além de corroborar com os princípios de ser ecologicamente correto. De toda forma, se as condições climáticas locais não forem favoráveis, a questão econômica for sobrepujante, ou ainda, do ponto de vista técnico o esforço para a realização não seja justificável, a alimentação será parcialmente dependente ou mesmo ligada diretamente à rede.

Através do estudo das cartas climáticas paranaenses (ítem 3.3) foi feito um levantamento estatístico da quantidade das horas anuais de temperatura crítica que poderiam culminar com a mortande píscea. Desta forma, estabelece-se uma aproximação inicial do número de horas mínimas por ano de funcionamento do refúgio e têm-se uma ordem de grandeza de um gasto energético provável.

Essa estimativa de tempo crítico anual, em última análise, deverá servir de base para uma verificação da viabilidade técnica e econômica do aparato, ao estimar-se o ganho pecuniário advindo da redução da mortande píscea comparativamente ao gasto no investimento para instalação e manutenção do refúgio.

Quando na etapa de caracterização matemática dos processos envolvidos, para os corretos equacionamentos, bem como simplificações e delimitações de contorno, faz-se necessário o pleno conhecimento das variáveis envolvidas, e as variáveis biológicas deste trabalho em geral são desconhecidas do engenheiro eletricista. Dessa forma, o modelo a ser desenvolvido precisa, além do conhecimento matemático, que os procedimentos metodológicos sejam bem direcionados.

A simulação da caracterização matemática dos modelos de processo desenvolvidos, como condição *sine qua non* do desenvolvimento de um projeto de controle (ítens 5.1 3 5.2), necessitará do conhecimento dos programas de computação científica disponíveis para consecução de tal objetivo, permitindo maior segurança na fase de implementação física.

Este trabalho delineou a necessidade de dois protótipos: (a) protótipo de validação comportamental e (b) protótipo de experimentação *in loco*. Na graduação definiu-se como objetivo a construção do protótipo de validação comportamental e a fundamentação técnico-teórica de todos os aspectos que permitiriam avaliar a construção de um segundo protótipo, já com a formatação de um novo produto, diretamente no meio de cultivo.

Vencida a etapa de validação por intermédio do primeiro protótipo e valendo-se das modelagens e conceituações deste trabalho de graduação, lista-se uma série de características que precisam compor o protótipo de experimentação:

1. O sistema de controle a ser desenvolvido propõe-se a alterar os fatores abióticos do refúgio térmico, condicionando esse ecossistema a melhores condições para a espécie de peixe desejada em momentos críticos. Como se pretende que a leitura e interpretação dos parâmetros de entrada das malhas sejam automáticos para minimizar a interferência humana, uma dificuldade será encontrar sensores adequados.

Os sensores precisam agregar propriedades como robustez, simplicidade, durabilidade, praticidade e baixo custo de instalação e manutenção para captação dos dados requeridos. Essas especificidades dos equipamentos de sensoriamento permitem pensar que, além de um protótipo, este trabalho possa conceber ao seu término um produto funcional com aplicabilidade manifesta na realidade atual do cultivo de peixes em viveiros locais.

2. Os dispositivos que podem compor o complexo têm caráter de funcionamento mecânico, elétrico e químico, tais como a bomba de oxigenação, o sistema do trocador de calor, as válvulas de controle de vazão e uma possível bateria para acumulação e uso noturno da energia. A interação da planta de controle com tais equipamentos de maneira automática configura-se como um fator agravante, pois depende de um patamar tecnológico elevado. Ainda que o foco deste trabalho seja o controle de apenas duas variáveis, temperatura e oxigenação da água, o conjunto poderá ter um caráter híbrido de interação automática e manual.

3. A disposição construtiva do refúgio térmico precisa facilitar:

- A renovação da água.



- A manutenção da temperatura.
- A dissolução de oxigênio.
- A entrada e saída dos peixes.
- A retirada dos excrementos.

A problemática se dá pela concepção do arranjo físico ideal, melhor localização em relação ao tanque, dimensionamento adequado de sua capacidade e pela escolha dos materiais que constituirão as suas paredes. Elucidativamente, configura-se como um exercício chave do sistema a manutenção de um padrão térmico adequado aos animais e que dispenda o menor índice de insumos.

Dessa forma, conforme discutido nos parágrafos precedentes, são muitas as variáveis técnicas que devem ser levadas em consideração para que se desenvolva um produto tecnológico novo.

A pretensão sobrepujante desse trabalho é a idealização teórica do refúgio térmico e o delineamento simplificado do seu funcionamento em uma aplicação real levando em conta os processos físicos envolvidos. Através da avaliação biológica e técnica das principais características desse aparato, possibilita-se a continuidade acadêmica e um investimento econômico para uma fabricação futura do produto inventado.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Conceber o modelo teórico do aparato tecnológico que é o refúgio térmico. Validar empiricamente, através da construção de um protótipo de simulação comportamental dos peixes, a hipótese destes migrarem voluntariamente para uma zona de conforto térmico quando induzidamente atraídos por fluxo de água quente desembocante no meio de cultivo.

Delinear, através de toda uma fundamentação teórica multidisciplinar e com a aplicabilidade dos resultados do primeiro protótipo, um segundo protótipo para aplicação *in loco* e que seja capaz de melhorar as chances de sobrevivência dos peixes em situações críticas de temperatura e oxigenação em tanques de piscicultura.

A melhora dar-se-á através da anexação de  aparato à pequenos viveiros de tilapicultura e pelo controle semi-automático de variáveis abióticas, buscando a diminuição da mortandade

píscia, o que permite, ainda que indiretamente, uma escala maior de produção de peixes.

Estima-se que o conjunto possa ser auto-sustentável do ponto de vista energético ao requerer baixa potência e aproveitar as características climatológicas locais para uso de uma fonte independente de alimentação elétrica, além de utilizar-se de insumos locais, tais como madeira e gás metano, para os processos que requeiram calor.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Delimitar o tema do trabalho, bem como suas premissas e justificativas.
2. Contextualizar histórica e economicamente a piscicultura.
3. Compreender as condições de contorno que delimitam o problema, ou seja, os fatores ambientais que interferem na tilapicultura.
4. Projetar um protótipo de validação comportamental dos peixes (aquário de testes) definindo: regiões de isolamento térmico, sistemas de aquecimento e refrigeração, painel de controle, sistema de iluminação diferencial e demanda elétrica.
5. Construir o protótipo projetado.
6. Validar empiricamente, por uso do protótipo, a hipótese de os peixes migrarem voluntariamente para uma zona de conforto fisiológico.
7. Interagir-se com a comunidade inserida no contexto da piscicultura: grupos de pesquisa, estudiosos, criadores, bem como órgãos governamentais.
8. Fundamentar teoricamente os conceitos físicos, químicos, biológicos e técnicos abrangidos na modelagem matemática dos processos do projeto.
9. Modelar matematicamente os processos térmicos e de vazão, bem como estabelecer um delineamento analítico para a oxigenação.
10. Simular computacionalmente os modelos desenvolvidos.
11. Dar subsídios técnicos para a definição da conformação física ideal e localização estratégica do refúgio de forma a minimizar as perdas de calor e maximizar a dissolução de oxigênio na água.

12. Definir estratégias de continuidade do projeto em nível de mestrado e incubação de uma empresa de base tecnológica para automação de processos agroindustriais, de forma a avaliar a construção real de um protótipo com conformidade de produto.

## 1.4 Justificativa

“Devido às dimensões continentais do Brasil, que proporciona grande diversidade de relevo e clima, assim como as diferenças sócio-econômicas regionais, formaram-se redes com características próprias, que possuem maior ou menor durabilidade. Porém, os modelos técnicos adotados em nosso país para a piscicultura não são originais, eles foram adaptados de acordo com a tecnologia disponibilizada em outros países onde esta é praticada há mais tempo”( SILVA, 2005,p38)

A aquicultura brasileira cresce a uma taxa superior a 20% ao ano, muito maior que todas as demais atividades de produção animal (OSTRENSKY; BORGHETTI; SOTO, 2008). Uma das modalidades de aquicultura que mais vem se desenvolvendo no Brasil é a criação de peixes de água doce (especialmente as tilápias) em sistemas de tanque-rede instalados em grandes reservatórios, constituindo-se numa alternativa viável para geração de empregos e renda (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2010).

“O potencial do Brasil para o desenvolvimento da aquicultura é imenso, constituído por 8.400 km de costa marítima, 5.500.000 hectares de reservatórios de águas doces, aproximadamente 12% da água doce disponível no planeta, clima extremamente favorável para o crescimento dos organismos cultivados, terras disponíveis e ainda relativamente baratas na maior parte do país, mão-de-obra abundante e crescente demanda por pescado no mercado interno. Nos últimos cinco anos a aquicultura brasileira vem apresentando taxas de crescimento anuais médias superiores a 22%.” (SEBRAE,2003, p 9).

A automação de um sistema produtivo busca minimizar custos, agregando dinamismo e eficiência. Processos que ainda não estão englobados nessa realidade são boas oportunidades para melhorar o retorno econômico e promover o desenvolvimento tecnológico da área. A piscicultura do ponto de vista da engenharia elétrica é um campo sub-explorado, sendo assim um ramo fértil para a inovação tecnológica.

Para uma criação racional de peixes é preciso observar fatores básicos como local, terreno, quantidade e qualidade da água, alimento e alevinos. Dentro do controle da água há as características físicas e químicas. Busca-se neste trabalho a monitoração de duas variáveis físicas: temperatura e oxigenação.

A temperatura da água influencia em todos os aspectos da vida do peixe (crescimento, desova, alimentação, respiração, etc.), na quantidade de oxigênio dissolvido no meio de cultivo, na

ação tóxica de certos compostos e em muitos outros aspectos (YANCEY E MENEZES, 1989).

O oxigênio é um dos fatores-chave para a vida aquática, e como geralmente se encontra com baixa solubilidade na água, é frequentemente um fator limitante para esse tipo de vida (EMBRAPA, 1999).

A escolha de uma espécie específica de peixe deve possibilitar a consecução do objetivo geral deste projeto: condicionar variáveis físicas, dentro do refúgio térmico, como a qualidade da água em localidades onde o clima é afim ao de Curitiba, ou seja, com verões brandos e invernos relativamente rigorosos, para um peixe de desenvolvimento favorável em águas tropicais.

Existem, pelo menos, 77 espécies conhecidas de tilápia, das quais a tilápia do Nilo ou tilápia nilótica é a espécie de crescimento mais rápida. A temperatura da água, para um crescimento e reprodução ótimos, situa-se entre os 20 e os 30 °C. A tilápia é considerada a espécie de peixe ideal para a piscicultura de pequena escala (CARBALLO et al, 2008, p 55).

Conforme Viana (2003), a Região Sul, apesar de não possuir o clima mais adequado para a produção de espécies tropicais, é responsável por cerca de 70% da produção de tilápia brasileira, sendo o Paraná o maior produtor nacional de sua espécie.

Em localidades frias, tais como Curitiba, a piscicultura da Tilápia se torna dificultosa devido às mudanças das condições ambientais em determinadas épocas do ano, particularmente a queda da temperatura, resultando em mortandade dos peixes.

A restrição do condicionamento térmico em um refúgio estrategicamente dimensionado e localizado em relação ao tanque de criação é justificável, pois manter a temperatura de um volume menor de água exige menos dispêndio de energia, o que permite imaginar que o conjunto possa ser isento de ligação à rede elétrica ao se prevalecer de fontes renováveis para sua alimentação e de insumos energéticos locais, tais como madeira e gás metano, para os processos que precisem de calor.

As dimensões relativas do refúgio térmico devem levar em conta:

- Levantamento do nível populacional pisco no tanque de criação.
- Estimativa do peso médio dos peixes.
- Aproximação da quantidade em massa total de peixes em gramas.
- De acordo com as referências bibliográficas, avaliar o consumo mássico de oxigênio na unidade ( $mg_{O_2} / g_{depeixes} \cdot ^\circ C$ )

- Verificar o potencial de dissolução do oxigênio em gramas por litro através de meios artificiais de aeração.
- Baseado na quantidade de oxigênio que pode-se dissolver, na unidade ( $g_{O_2}/l$ ), e no consumo mássico de oxigênio ( $mg_{O_2}/g_{depeixes}^{\circ C}$ ), estimar a capacidade do refúgio térmico em litros.
- Com a medida de capacidade do refúgio, e definido o seu formato, por exemplo cúbico, mensurar os seus elementos geométricos: arestas.
- Com o dimensionamento geométrico do refúgio e um estudo pré-determinado dos materiais que constituirão suas paredes dar uma ordem de grandeza para os parâmetros usados na modelagem térmica: resistências e capacitâncias térmicas.
- Avaliar formas de troca de calor possíveis para os processos que envolvam a manutenção de temperatura e aquecimento da água.
- Com as ordens de magnitude da capacidade em litros do refúgio e das grandezas envolvidos nas funções de transferência térmicas e de vazão, simular computacionalmente os modelos de processo para verificar a resposta do sistema.
- Efetuar a análise em regime transitório das respostas dos sistemas à uma excitação em degrau unitário: tempo de atraso, tempo de subida, instante de pico, tempo de acomodação e máxima ultrapassagem.
- Se necessário, projetar um controlador para ajustar as respostas dos sistemas.

A localização estratégica do refúgio deve permitir um acesso direto do peixe e reduzir as trocas de calor. Com essas distinções necessárias, avaliam-se duas alternativas:

- A primeira, de inserção do ambiente controlado dentro da água do tanque de criação,
- E segunda, de anexação por meio de tubulações, estando o refúgio posicionado externamente e enterrado ao lado do tanque.

Ambas alternativas possuem características de interesse. Ao ser inserto, não há necessidade de reforço estrutural dos tanques (que podem ser de barro ou cimento). Ao se anexar, facilita-se a limpeza e controle das variáveis, além do que é primordial, diminuir as trocas de calor com o meio – há uma mudança significativa nas trocas de calor estando o meio envolto por terra ou por água.

E também ambas possuem aspectos negativos, uma vez que ao ser inserto um sistema de ancoragens é preciso, além de uma possível manutenção gerar bem mais distúrbios no meio de cultivo. Ao ser anexado, aumenta-se a distância do tanque ao refúgio, o que pode ser um fator de inibição ao acesso dos peixes.

A motivação para a realização deste trabalho é a oportunidade de contribuir tecnicamente, através de uma solução de engenharia para a criação de peixes em viveiros de água doce. Entende-se que este trabalho pode refletir de forma positiva, ainda que pontualmente, em certos aspectos dessa cultura zootécnica. Conjectura-se ser possível diminuir a mortandade e melhorar a engorda, o que culminaria em uma escala maior de produção.

## **1.5 Procedimentos metodológicos.**

### **1.5.1 Delimitação do tema**

Estabelecer as fronteiras do tema abordado pelo trabalho:

1. Ramo de criação animal: piscicultura.
2. Espécie de peixe: *Oreochromis niloticus*.
3. Problema: mortande em situações climáticas adversas.
4. Solução técnica: refúgio térmico.

### **1.5.2 Contexto histórico-econômico**

Entender o desenvolvimento técnico da piscicultura no Brasil, o potencial econômico nacional e regional, além das formas atuais de produção.

### **1.5.3 Fatores ambientais**

Compreender a relação dos fatores abióticos e bióticos em um ecossistema que é o viveiro de piscicultura. Estudar tópicos de limnologia no intuito de entender o habitat da Tilápia, de forma a permitir que se condicione o meio para se encontrar as melhores taxas de sobrevivência em situações adversas. Aprender sobre tópicos de ictiologia, para um entendimento macro da fisiologia e da anatomia do peixe.

### **1.5.4 Cartas climáticas**

Consultar entidades responsáveis pelo levantamento do nível de incidência solar e do regime de ventos da região metropolitana de Curitiba. Com base nos dados obtidos, almeja-se:

- Analisar com base estatística a quantidade de horas anuais em que a temperatura fica abaixo de um valor crítico e que poderia culminar na mortalidade dos peixes,
- Explorar a possibilidade de se atrelar o conjunto a uma geração independente de energia elétrica, aproveitando as características climatológicas locais, como a incidência solar e regime de ventos.

O SIMEPAR, SEMA, IAP, EMBRAPA, COPEL e a EMATER, são exemplos de entidades a serem consultadas.

### **1.5.5 Projeto do protótipo de validação comportamental**

Projetar um protótipo de validação comportamental dos peixes (aquário de testes) definindo: regiões de isolamento térmico, sistemas de aquecimento e refrigeração, painel de controle, sensores de temperatura, sistema de iluminação diferencial, sistema de oxigenação artificial e demanda elétrica do conjunto.

### **1.5.6 Construção do protótipo de validação comportamental**

De acordo com os requisitos técnicos e com os meios materiais disponíveis, construir o primeiro protótipo.

### **1.5.7 Validação empírica da hipótese biológica**

Validar a hipótese comportamental através de observância científica e por uso do protótipo construído. Valer-se do subterfúgio técnico que a atratividade por fluxo de massa quente desembocante para a região de livre trânsito (que simula o tanque, vide capítulo de ensaio, 3.4) induz nesses animais. Degradar climaticamente por resfriamento artificial a região de livre trânsito. Criar uma zona de conforto que simula o refúgio. Tabelar os dados observados e obter conclusões.

### **1.5.8 Fundamentação teórica**

Estruturar os conhecimentos das diversas áreas envolvidas no projeto, especialmente transferência de calor, escoamento de fluídos e solubilidade de oxigênio em água, bem como os tópicos relacionados a qualidade da água.

### **1.5.9 Realidade local da piscicultura**

Interar-se com a comunidade inserida no contexto da piscicultura: grupos de pesquisa, estudiosos, criadores, bem como entidades governamentais. Realizar visitas a estes, bem como apresentar-lhes o projeto em desenvolvimento, e ter uma avaliação prática e acadêmica, com o objetivo de ter-se um senso mais preciso da relevância do projeto.

### **1.5.10 Modelagem matemática**

Modelar matematicamente os processos térmico e de vazão, bem como estabelecer um delineamento analítico para a oxigenação.

### **1.5.11 Simulação computacional**

Efetuar a análise em regime transitório das respostas dos sistemas de vazão e térmico à uma excitação de entrada em degrau unitário, tais como tempo de atraso, tempo de subida, instante de pico, tempo de acomodação e máxima ultrapassagem. Se necessário, projetar um controlador para ajustar as respostas dos sistemas.

### **1.5.12 Subsídios técnicos para a definição da conformação física**

Aprofundar o conhecimento relacionado à transferência de calor e a dissolução de gases em água, atentando para a indispensabilidade da manutenção de um padrão de temperatura e de oxigenação. A conformidade física deverá possibilitar a consecução destes objetivos.

As dimensões relativas do refúgio térmico devem levar em conta o tamanho do tanque de criação e a quantidade total de peixes.

Estimar a ordem de grandeza da potência ativa do conjunto. Com base nesse cálculo, verificar a consonância ou não com a o objetivo do sistema ser independente da rede elétrica. Considerar alternativas sustentáveis como a utilização de queima de metano, madeira e captação



solar.

### **1.5.13 Estratégias de continuidade do projeto**

Definir as bases para que em nível de mestrado haja continuidade do Projeto. Avaliar a iniciativa da incubação de uma empresa de base tecnológica para automação de processos agroindustriais. Buscar convênios que possibilitem a construção real de um protótipo com conformidade de produto de forma a viabilizar o custo e o melhor desenvolvimento técnico do mesmo. Efetuar o pedido de registro de depósito da Patente de Invenção de forma a resguardar os criadores e estudiosos do conceito de refúgio térmico.

### **1.5.14 Estrutura do trabalho**

A estrutura proposta para o trabalho, baseada nos procedimentos metodológicos, leva em conta seis etapas progressivas. Em um primeiro momento será feita a delimitação do problema, apresentando suas justificativas e premissas. Posteriormente, o foco estará voltado para o entendimento do viés social da piscicultura.

Delimitado o problema e com o conhecimento histórico desse ramo zootécnico é feita na sequência a descrição dos fatores que influenciam o desenvolvimento dos peixes, que, para este trabalho, representam as condições de contorno do problema.

Então, é iniciada uma etapa de prática do trabalho, com o projeto e a construção do protótipo de validação comportamental do peixes.

Após a construção do primeiro protótipo inicia-se a etapa de validação empírica da hipótese biológica. Com os resultados positivos desses ensaios, busca-se uma interação com a comunidade inserida no contexto da piscicultura local, buscando uma avaliação, tanto do meio acadêmico, quanto do meio produtivo, quanto ao grau de relevância do projeto.

Concomitantemente a isso é feita a fundamentação teórica dos conceitos físico, químicos, biológicos e técnicos que darão escopo às modelagens matemáticas dos processos envolvidos no projeto.

Através desses conceitos teóricos é realizada a modelagem matemática, bem como a simulação computacional, dos processos térmicos e de vazão.

Vencidas todas as etapas anteriores, e com a projeção de um projeto de aplicabilidade e relevância, traça-se as estratégias de continuidade, tanto em âmbito acadêmico quanto na

concepção de uma empresa de base tecnológica para automação de processos agroindustriais.

Resumida as etapas envolvidas e sequencialmente as etapas envolvidas nesse trabalho são:

1. Delimitação do tema

- Premissas
- justificativas
- Objetivos
- Cronograma

2. Contextualizar Historicamente.

- Histórico da Piscicultura.
- Desenvolvimento Sustentável.
- Formas de criação comercial.
- Piscicultura na região Sul

3. Ensaio piloto.

- Projeto do Protótipo.
- Construção do Protótipo.
- Validação da hipótese biológica.

4. Interação com a comunidade .

- Grupos de pesquisa.
- Criadores de tilápia.
- Entidades governamentais.

5. Fundamentação teórica.

- Transferência de Calor.
- Escoamento de Fluídos.
- Solubilidade do oxigênio na água.

6. Modelagem de processos.

- Transferência de Calor.

- Escoamento de Flúidos.
- Solubilidade do oxigênio na água.

#### 7. Simulação e controle

- Transferência de Calor.
- Escoamento de Flúidos.
- Solubilidade do oxigênio na água.

#### 8. Estratégias de continuidade

- Acadêmica.
- Empresarial.

## 2 ASPECTOS HISTÓRICOS

### 2.1 Histórico da piscicultura

O cultivo de tilápias em cativeiro remonta à Idade Antiga. Há registros históricos de cultivo destes peixes em tanques para posterior consumo pelos egípcios, dois mil anos antes de Cristo. No entanto, o crescimento da atividade intensificou-se somente no século XX. A China, que possui tradição milenar em aquíicultura, é atualmente o maior produtor de tilápia cultivada do mundo tendo incrementado a exploração desta atividade a partir da década de 1970 (RESENDE, OLIVEIRA E PUCHNICK; 2008).

Foi apenas no século XIV, na baixa idade média, que a piscicultura começou a se desenvolver na Europa. Monges criavam carpas nos monastérios para manterem uma reserva para as épocas de escassez alimentar. A carpa chegou à Inglaterra em 1514, à Dinamarca em 1560 e aos Estados Unidos em 1782. (VALENTI; 2002).

No Brasil, a piscicultura iniciou-se, com a criação de carpas, no século XIX depois da importação de espécimes dos Estados Unidos. Até a década de 40 a carpa foi muito popular no estado de São Paulo, principalmente no vale do Paraíba e na região norte do estado bandeirante. Atualmente, a criação é desenvolvida sob controle, visando melhorar o produto final, e pode ser intensiva e extensiva.

Na piscicultura extensiva aproveitam-se os reservatórios de água utilizados para a produção de energia elétrica, bebedouros, irrigação e outros fins. Neste caso, o alimento consumido pelos peixes é aquele existente na natureza. Na piscicultura intensiva é necessário ter-se um ambiente adequado para a criação, e é preciso orientação de um especialista no sentido de obter maior rentabilidade no menor espaço de tempo.

Macgin (1998 apud SILVA) menciona que atualmente, em todo o mundo, 85% das espécies cultivadas são peixes de água doce não carnívoros (tilápia, carpa, milk fish) e mariscos que se alimentam em níveis mais baixos da cadeia trófica.

## 2.2 Desenvolvimento sustentável

Aquicultura é o processo de produção em cativeiro de organismos com habitat predominantemente aquático, em qualquer estágio de desenvolvimento, ou seja: ovos, larvas, pós-larvas, juvenis ou adultos (RANA; 1998).

De acordo com a FAO, Food and Agriculture Organization, três fatores caracterizam essa atividade: o organismo produzido é aquícola, existe um manejo visando à produção, e a criação tem um proprietário, isto é, não é um bem coletivo como são as populações exploradas pela pesca.

Segundo Valenti (2002), a atividade de aquicultura ao utilizar os recursos naturais locais tem o potencial de gerar empregos, o que promove o crescimento econômico e social da localidade.

O potencial da aquicultura, conseqüentemente a piscicultura, no Brasil é enorme. O país contém as maiores bacias hidrográficas do planeta e uma linha costeira de 8.400 km.

As atividades ligadas à aquicultura são dependentes do meio, poluição de mananciais, ocupação desordenada de regiões e outras ações humanas que causam estresse no ambiente, impactando nos habitats.

De uma maneira geral, a aquicultura é mais sensível a impactos externos oriundos do resultado da ação tanto do homem, quanto da natureza, do que outras atividades produtivas (MUIR e NUGENT; 1995).

Políticas para o desenvolvimento sustentável da atividade precisam ser desenvolvidas no Brasil. A utilização de fontes renováveis de energia a captação e bombeamento de água, utilização de equipamentos para fabricação de ração, refrigeração da produção, sinalização e iluminação, oxigenação da água, o transporte da produção e de insumos deve ser considerada (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2010).

## 2.3 Piscicultura intensiva

Segundo a FAO (1999) o crescimento da aquicultura tem sido da ordem de 10% ao ano.

No mundo, a maior parte da produção aquícola é proveniente de empreendimentos com baixo rendimento em que a qualidade é inferior à requerida para exportação, sendo utilizada nos mercados internos ou para subsistência.

Sistemas intensivos de cultivo são aqueles que demandam maiores investimentos. A cons-

trução de tanques, a demanda elétrica e as rações de alta qualidade são alguns fatores que encarecem os valores demandados na implantação dos projetos. Esse tipo de criação é recomendado principalmente para peixes de alto valor econômico, como os Salmonídeos.

Existem algumas formas distintas de produção intensiva de peixes, sendo que os que mais se destacam são os "*raceways*", os tanques-rede e os sistemas fechados, com recirculação de água.

### 2.3.1 Raceways

Os "*raceways*" são sistemas de criação intensiva utilizados em regiões montanhosas, perto de nascentes de rios. Como estas águas são normalmente mais frias, a criação de peixes se restringe a espécies resistentes ao frio, como as trutas.

A morfologia dos tanques pode variar de uma geometria estreita e comprida até tanques de forma circular. Um sistema de escoamento da água é utilizado permitindo a eliminação de resíduos. Para espécies que necessitam de um alto nível de oxigenação, este sistema melhora sensivelmente a qualidade da água.

Um dos problemas deste tipo de projeto é grande dispêndio de água por massa de peixe, encarecendo o produto. No caráter ambiental, o uso exacerbado de água limita a implantação deste tipo de empreendimento. Exemplos de "*raceways*" são mostrados nas figuras 1 e 2.

### 2.3.2 Tanques rede

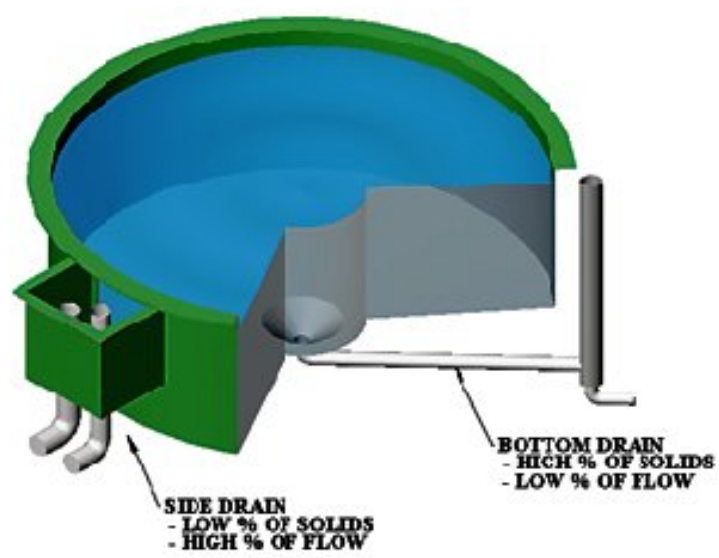
Sendo a tecnologia de criação intensiva que demanda um menor valor investido por quilograma de peixe, os tanques-rede compõem um sistema atrativo ao piscicultor.

O sistema de tanques-rede consiste em confinar uma região alagada com telas e utilizar essa área para a criação de uma espécie de valor comercial. Atualmente, a espécie que mais se adequou a esse sistema é a tilápia o que proporciona colheitas superiores a  $100\text{kg/m}^3$  (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2010).

Existem alguns problemas com esse sistema no âmbito ecológico, pois uma superpopulação de peixes dentro destes tanques pode comprometer uma região alagada, como um rio ou lago.



**Figura 1: *Race Ways***  
**Fonte:**



**Figura 2: *RaceWay* circular**



**Figura 3: Tanques-rede**

### **2.3.3 Sistemas fechados**

Os sistemas fechados de criação de peixes consistem em ambientes totalmente supervisionados e isolados das intempéries. São normalmente construídos em tanques circulares dentro de estufas agrícolas. O sucesso desse sistema depende de um monitoramento contínuo dos parâmetros indicativos da qualidade da água.

As vantagens mais acentuadas do sistema fechado estão na demanda mínima de água, o que possibilita a criação em localidades desprovidas deste insumo, na sua utilização em piscigranjas, sistemas dedicados a criação de alevinos, e também em grandes aquários.

Atualmente, os sistemas fechados são a única possibilidade de criar com segurança espécies tropicais como a tilápia em zonas temperadas. Outra utilização é na criação de espécies que não são naturais da região.

As desvantagens deste sistema são o alto valor investido junto da mão de obra especializada necessária para manter o funcionamento correto do tanque de criação.

## **2.4 Integração da aquicultura com a agricultura**

A agricultura e a piscicultura podem se relacionar de diversas maneiras. Uma forma simples é a utilização das águas destinadas à criação de peixes serem utilizadas em zonas de cultivo de pomares e lavouras. Outra seria o uso de resíduos não utilizados nas colheitas para a alimentação





**Figura 4: Sistema isolado de criação**

dos peixes.

Hopkins e Bowman(1993) descrevem a metodologia de estudos sobre a integração da aquicultura com a agricultura e concluíram que essa integração pode reduzir custos operacionais de ambas as atividades, o que implica em condições de sustentabilidade, com o aproveitamento dos resíduos.

Os resíduos gerados pela criação de peixes podem ser utilizados como adubo para diversas culturas agrícolas, fato mencionado por Westermann (1993) que estimou que 22.000 toneladas de trutas podem proporcionar 10.000 toneladas de fertilizantes orgânicos ao longo de um ano.

Um outra possibilidade de integração é a utilização das águas eliminadas dos tanque para regar plantas hidropônicas. Esta água é rica em compostos como amônia e nitritos.

## **2.5 Piscicultura na região sul do Brasil**

Os primeiros indícios de piscicultura na região sul do país são da década de 40, quando os primeiros estudos foram desenvolvidos pelo limnologista Hermann Kleerekoper e tinha como objetivo repovoar a Lagoa dos Quadros, localizada no estado do Rio Grande do Sul.

Comercialmente, a região começou a se destacar na década de 70 com o auxílio dos novos órgãos governamentais da área de desenvolvimento agrícola, como a EMBRAPA. As universidades também tiveram o seu papel benéfico no processo, com a criação dos centros de ciências agrárias e de biologia, que possibilitou a implantação de novas tecnologias.

Ao final da década de 70 e início dos anos 80, o cenário era promissor. A abundância de alevinos, os incentivos governamentais e os recursos hídricos aparentemente inesgotáveis alvacaram a piscicultura regional.

Na década de 90, a recessão econômica reduziu a produção na região, pois os custos se elevaram e a produtividade ficou em baixa, extinguindo os pequenos acudes. Esse fato seria visto posteriormente como benéfico, uma vez que dessa forma o amadorismo foi reduzido abrindo espaço para a produção intensiva.

## 3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

### 3.1 Tópicos de limnologia

A limnologia refere-se ao estudo de lagos, lagoas e águas permanentes, assim como suas interações com a comunidade biótica. Relaciona as variáveis abióticas dos meios de cultivo com os organismos que neles vivem.

São vários os aspectos físicos e químicos relacionados à qualidade da água e que interferem diretamente na criação dos peixes. Entre os conceitos físicos pertinentes ao ambiente aquático estão: densidade, viscosidade, tensão superficial, cor da água, transparência, movimentação da água e temperatura. E dentre os conceitos químicos estão: a dissolução de gases, pH, a concentração de íons e a condutividade elétrica.

Na sequência, de forma sucinta, todos esses conceitos serão abordados com o objetivo da compreensão macro das variáveis que interferem diretamente na produtividade pística.

Todavia, como já citado neste trabalho, o enfoque estará no desenvolvimento de um ambiente controlado que requeira baixa potência elétrica. Esse ambiente, denominado refúgio térmico, a ser inserto no tanque de criação e que se encontra isolado termicamente em relação ao meio, possui como variáveis de controle a temperatura, a oxigenação da água e a vazão.

#### 3.1.1 Densidade

A densidade influencia na dinâmica de movimentação da água varia de acordo com as condições de temperatura e pressão. Na temperatura de 4°C a densidade da água é máxima.

Essa característica da água não tem uma variação linear, como observado em outras substâncias. Com o aumento da temperatura sua densidade reduz. Este fato resulta em transporte de massa e correntes de convecção internas, uma vez que a água menos densa sobe.



**Figura 5: Densidade da água pela temperatura.**  
**Fonte: Braga ()**

### 3.1.2 Viscosidade

De acordo com o Streeter e Wylie(1982), viscosidade é a propriedade pela qual um fluído oferece resistência ao cisalhamento. A lei de Newton da viscosidade é  $\tau = \mu \frac{du}{dy}$  onde o fator de proporcionalidade  $\mu \frac{du}{dy}$  é chamado viscosidade do fluído, a tensão de cisalhamento, e é variação de velocidade dividida pela distância ao longo da qual a variação ocorre. Tal lei estabelece que, para uma dada velocidade de deformação angular de um fluído, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à viscosidade.

Os fluidos resistem tanto aos objetos que se movem neles, como ao movimento de diferentes camadas do próprio fluido. Quanto mais viscoso é um meio, maior o dispêndio de energia para locomover-se dentro do mesmo.

A temperatura, assim como os elementos dissolvidos dentro da água, interfere nessa propriedade, tornando o ambiente mais ou menos dificultoso ao transporte de matéria.

Quando a viscosidade de um líquido abaixa com aumento da temperatura dois fatos acontecem:

1. surgem correntes de convecção mais acentuadas.
2. no âmbito biológico, os microorganismos, que servem de alimento, são impedidos de realizar a fotossíntese, pois não conseguem se sustentar na superfície e acabam indo para as zonas desprovidas de luz solar.

Tabela 1: Viscosidade da água de acordo com a temperatura

| <b>Temperatura</b> | <b>Viscosidade em %</b> |
|--------------------|-------------------------|
| zero               | 1000                    |
| 10                 | 73                      |
| 20                 | 56,1                    |
| 30                 | 44,6                    |

**Fonte: Nomura (1985)**

### 3.1.3 Tensão superficial

Há uma força de atração entre as moléculas de uma substância que se denomina coesão. As moléculas de um fluido quanto mais próximas estiverem uma das outras, ficam sujeitas a uma atração mútua.

As camadas submersas do líquido as forças de coesão se neutralizam, fato que não ocorre na superfície, onde as forças de coesão vêm apenas de baixo, já que não existem moléculas acima para contrabalancearem este efeito.

A densidade se torna maior na camada superficial, já que as moléculas estão comprimidas. Entretanto, a película formada continua na superfície. E é nessa camada superficial, devido ao efeito da maior densidade, que os microorganismos podem alocar-se e terem contato com calor e luminosidade.

### 3.1.4 Transparência

“A transparência indica a que profundidade a luz penetra na coluna d’água. Muitos são os fatores que podem interferir na transparência da água, mas ela é determinada principalmente pela quantidade de materiais em suspensão, que podem ser partículas minerais (argila e silte) e partículas orgânicas (plâncton)” (MEDEIROS, 2002).

Quanto menor é a quantidade de organismos planctônicos, maior é a transparência da água. Essa característica também varia durante o dia, uma vez que devido à circulação da água e mudança de temperatura tais organismos migram de região dentro do lago. Para Schmittou (1993), a transparência indica o estado trófico da água, ou seja, ela estará alta quando houver pouco nutriente e baixa quando os nutrientes forem abundantes.

Quando o ambiente está repleto de dejetos e partículas, a transparência da água se altera. Quanto mais partículas em suspensão, há redução da luminosidade dentro da água. Esse fato

prejudica as algas quanto ao processo fotossintético, desprove o ambiente de alimento para os peixes e diminui também as reservas de oxigênio.

### **3.1.5 Movimentação**

A movimentação da água é realizada majoritariamente por dois fatores distintos, os ventos e as correntes internas devido às mudanças de temperatura. Em lagos e açudes é essa movimentação que possibilita que o oxigênio da atmosfera fique disponível para as espécies aquáticas.

Quando ocorre o aquecimento da água por exposição aos raios solares, as camadas mais elevadas ficam a uma temperatura maior que as águas mais frias do fundo. A relevância desse fato para a vida nesses ambientes é que o oxigênio nas camadas inferiores é esgotado rapidamente, pois não existe mais troca de gases forçando os peixes a se situarem nas zonas superficiais da água.

Um fato que pode ocorrer diz respeito à estratificação térmica, de modo que em ambientes aquícolas, que em geral são rasos, ocorre aquecimento da água superficial durante o dia e homogeneização durante a noite, e este processo, denominado desestratificação térmica, pode ocasionar estresse e mortalidade dos peixes (TAVARES, 1994).

### **3.1.6 Temperatura**

A temperatura é o fator que exerce maior influência sobre os demais aspectos físicos da água. Fisiologicamente, interfere no metabolismo, reprodução e crescimento dos peixes.

Seres que toleram grandes variações de temperatura são chamados de euritérmicos, já os que não toleram grandes diferenças são os estenotérmicos. Os peixes em geral são estenotérmicos variando apenas a faixa de temperatura de conforto.

Salmonídeos são estenotérmicos de frio, precisam de temperaturas baixas para sobreviver, enquanto que peixes como as tilápias são estenotérmicos de calor, necessitando de temperaturas altas para sobreviver.

A tilápia do rio nilo é típica de ambiente tropical, e adapta-se melhor em clima onde a temperatura esteja entre 18°C e 28°C. (LUND e FIGUEIRA, 1989)

O metabolismo dos animais pecilotérmicos, animais de sangue frio, está diretamente ligado ao calor do ambiente, assim como a sua taxa de reprodução. Os embriões de peixes têm o

seu desenvolvimento acelerado em temperaturas mais adequadas, o que possibilita aumentar a população píscea.

Com a aceleração do metabolismo dos peixes, há o aumento na ingestão de alimentos, digestão, excreção e até mesmo no crescimento, acontecendo o inverso quando a temperatura diminui (KUBITZA,2000). Borba (1998) ressalta que peixes tropicais crescem melhor em temperaturas acima de 25 C, mas se a mesma estiver acima de 32-36 C, o crescimento pode ser reduzido.

Os níveis de oxigenação da água também estão relacionados com a temperatura, sendo mais solúvel em águas frias do que em águas quentes.

O consumo de oxigênio é elevado em algumas situações: em águas quentes devido à maior atividade dos peixes; em águas contaminadas devido as algas e outros organismos unicelulares; em  guas com muito material orgânico devido às bactérias para a decomposição.

### **3.1.7 Gases dissolvidos**

Qualquer porção de água cont m uma gama de gases dissolvidos. A concentração de um certo gás em um líquido é regida pela lei Henry que relaciona a pressão atmosférica, a solubilidade do líquido e a temperatura em que ele se encontra.

Quanto maior o grau de agitação das moléculas de um gás, maior é a dificuldade de mant las retidas dentro do fluido, portanto em temperaturas mais altas existe menos gás diluído dentro da  gua.

Existem duas origens básicas para o oxigênio no ambiente aquático, a primeira é a inserção mecânica do gás que é causada pelos ventos, quedas de água e turbulências em geral. A segunda, são os organismos fotossintéticos que através do consumo de dióxido de carbono liberam oxigênio na  gua.

Em criadouros de piscicultura intensiva   necessário que exista uma ação antrópica, uma intervenção humana, para garantir a oxigenação do tanque. Quedas d'água e bombas são instaladas de forma a garantir um nível mínimo deste gás diluído.

Para a sobrevivência da tilápia do rio nilo o limite letal do teor de oxigênio dissolvido na água, conforme Lund e Figueira (1989), está entre 2 e 3 mg/litro, ou seja, ou seja pouco exigente nesse aspecto.

A solubilidade do oxigênio na água a uma atmosfera está disposta na tabela 2.

Tabela 2: Solubilidade do oxigênio em relação à temperatura

| <b>Temperatura (°C )</b> | <b>Oxigênio na água (mg/l)</b> |
|--------------------------|--------------------------------|
| zero                     | 14,70                          |
| 10                       | 11,47                          |
| 20                       | 9,39                           |
| 30                       | 7,78                           |

**Fonte: Adaptado de Nomura (1985)**

Como resultado da respiração, que permite aos animais quebrarem a molécula da glicose e utilizar a energia para sua sobrevivência, é liberado o dióxido de carbono. O dióxido de carbono é um gás necessário ao processo fotossintético, no entanto sua presença em níveis intensos pode comprometer a qualidade da água quando se trata de abrigar seres vivos. O limite de gás carbônico diluído na água que pode por em risco os peixes se encontra na faixa de 20 até 150 mg/l.(NOMURA,1985)

Ao reagir com a água formam-se compostos que abaixam o pH do meio aquoso, o que torna o ambiente mais ácido, isto pode ocasionar disfunções biológicas nos peixes e impossibilitar sua reprodução.

Além do processo respiratório, o dióxido de carbono também tem como fonte reações proveniente de agentes bacterianos que decompõem a matéria orgânica dos ecossistemas. Este fato está intimamente ligado à quantidade de dejetos, sejam excrementos quanto matéria morta, e à temperatura do ambiente.

Outro gás presente é o metano proveniente da decomposição anaeróbica da celulose, encontrado normalmente em águas paradas onde a matéria orgânica em decomposição concentra mais o gás. O metano interfere, pois algumas bactérias o utilizam em suas reações químicas produzindo dióxido de carbono.

Também proveniente das decomposições anaeróbicas de algumas bactérias o sulfato está presente em águas paradas. É um componente tóxico que pode matar peixes e animais aquáticos.

O nitrogênio é o gás em maior quantidade na atmosfera, sua importância para a vida está na composição de diversas proteínas presentes nos animais e plantas. No meio aquático o nitrogênio é encontrado na forma de gás e é inerte ao ambiente.

O fosfato, o cálcio, o magnésio e os nitratos, são fatores limitantes para formação de um



ambiente rico em nutrientes para a base da cadeia alimentar.

### **3.1.8 Potencial de hidrogênio iônico**

O pH afeta diretamente na criação de peixes. Os valores ideais estão entre 6,5 à 9. Fora desta faixa ocasiona baixa produção de alevinos (NOMURA,1985). Em especial, para a tilápia nilótica a faixa ideal é de 7 a 8, e suporta de 5 a 11 (LUND e FIGUEIRA,1989).

A região onde se situa o lago ou criadouro é preponderante, pois em terrenos com pouco cálcio e ricos em húmus, os índices ficam baixos configurando um nível de acidez. É notável também que valores altos provocam efeitos negativos, colocando em risco a produção.

A concentração de íons de hidrogênio livre interfere nos processos fisiológicos de animais e vegetais. Entre os organismos microscópicos, o pH interfere no metabolismo tanto na qualidade dos processos quanto na quantidade de matéria processada.

Como os organismos zooplanctônicos junto dos fitoplanctônicos são a base da cadeia alimentar aquática, um ambiente com concentrações fora do natural colocam em risco toda uma gama de animais interdependentes.

Existem diferentes tipos de organismos, alguns são mais adaptados a águas alcalinas,(córregos e rios) enquanto outros preferem regiões mais ácidas (lagos, açudes e tanques).

### **3.1.9 Condutividade elétrica**

Os compostos iônicos são carregados, conseqüentemente, bons condutores de eletricidade. As funções biológicas dos vegetais dependem destes íons, portanto a condutividade elétrica do líquido é um indicativo das condições do meio.

Ao fazer medições da condutividade elétrica pode-se associar o nível de fotossíntese do ambiente, e a quantidade de nutrientes na água e avaliar as condições do habitat.

## **3.2 Tópicos de ictiologia**

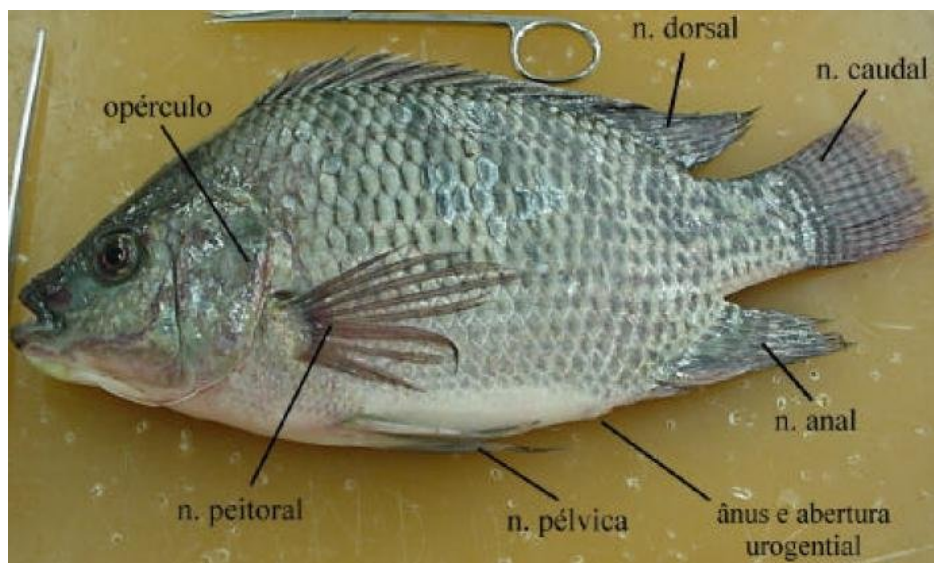
Segundo Coad e McAllister (2002), ichthyes e logos vêm do grego, e significam, respectivamente, “peixe”, “estudo”. Assim, Ictiologia seria o estudo científico sobre os peixes. Serão tratados a seguir algumas noções básicas sobre a anatomia e fisiologia dos peixes, em especial da tilápia.

Os peixes pertencem ao filo dos cordados. Há dois subfilos: (a) dos Agnatha (sem mandíbula), sendo as lampreias e os peixes-bruxas, (b) dos Gnathostomata (com mandíbula), sendo das classes dos Chondrichthyes e dos Osteichthyes.

As lampréias em geral são parasitas e vivem na América do Norte, já a classe dos Chondrichthyes possuem cartilagem no lugar de ossos. Comercialmente, para a piscicultura interessam os representantes da classe dos Osteichthyes, que são peixes ósseos.

Em relação ao corpo da tilápia, este é dividido em três partes: (a) cabeça, que vai da ponta do focinho até a extremidade posterior do opérculo, (b) tronco, do opérculo até o ânus; e (c) o resto configurando a cauda.

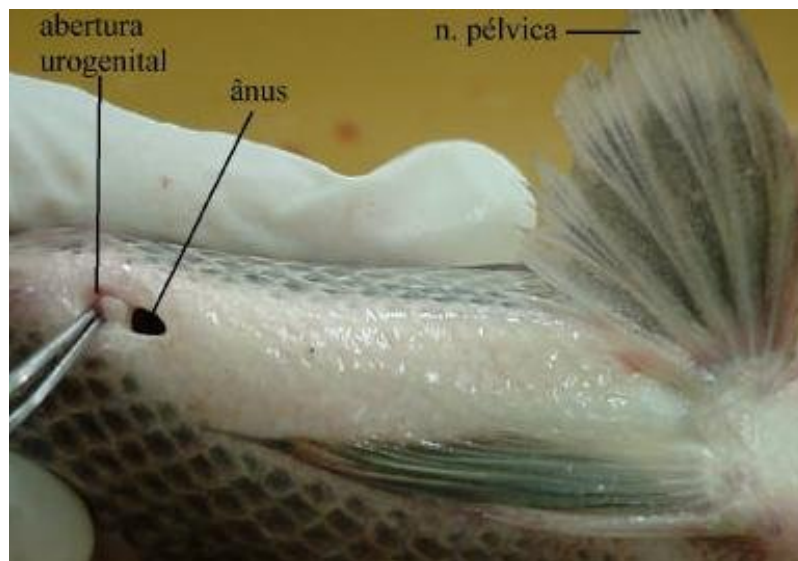
No focinho há duas narinas, olhos laterais que não possuem pálpebras e boca terminal. Após o ânus está a abertura urogenital. As nadadeiras são: uma dorsal, uma anal e uma caudal, duas peitorais e duas pélvicas.



**Figura 6: Vista lateral 1 da tilápia-do-nilo.**  
**Fonte: Bossolan (2001)**

O corpo é coberto por uma epiderme lisa, que produz muco, o qual auxilia na natação e protege de organismos causadores de doenças. O tronco e a cauda são cobertos de escamas, dispostas em fileiras. De cada lado do corpo encontram-se escamas perfuradas, formando a linha lateral. Abaixo da linha lateral há órgãos sensitivos que percebem as vibrações da água.

Através das escamas pode-se aferir a idade dos peixes. As escamas podem ser: ganóides, cosmóides, ciclóides e ctenóides (vide glossário). As mais comuns são as ciclóides (como da tilápia) e ctenóides (como do acará-comum).



**Figura 7: Vista ventral da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)**  
**Fonte: Bossolan (2001)**

As escamas e as nadadeiras compõem um esqueleto externo (exosqueleto), já o interno (endosqueleto) é formado do crânio, coluna vertebral, costelas, cintura peitoral, pterigióforos ou ossos acessórios, responsáveis pela sustentação dos raios das nadadeiras. Os dentes podem ocorrer nos ossos pré-maxilar, dentário, vômer e palatino.

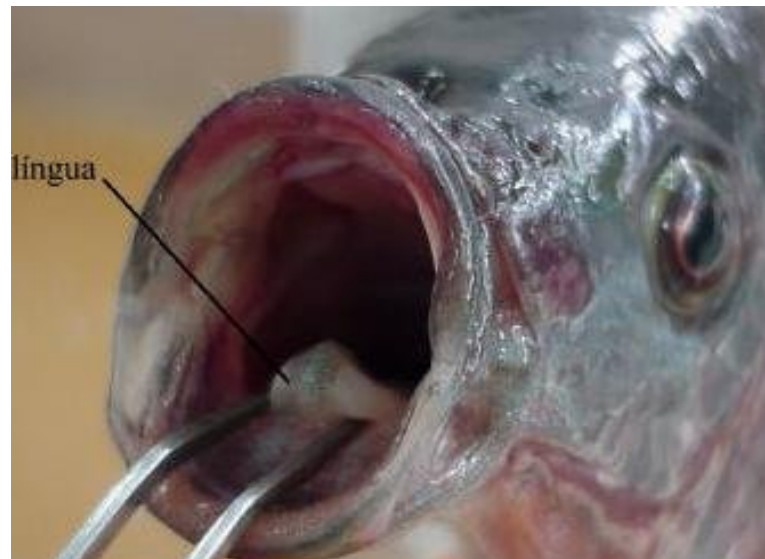
A coluna vertebral é formada de vértebras, que em geral são côncavas. Cada vértebra possui um espinho e um arco neural dorsalmente e, no caso da vértebra caudal, um espinho e um arco hemal. Há ligamentos unindo uma vértebra à outra, e no centro de cada vértebra há restos de notocorda.

O aparelho digestivo é constituído de maxilas, mandíbulas, dentes, língua, faringe, esôfago, estômago e intestino. O fígado é grande; a vesícula biliar e o dueto biliar abrem-se no intestino.

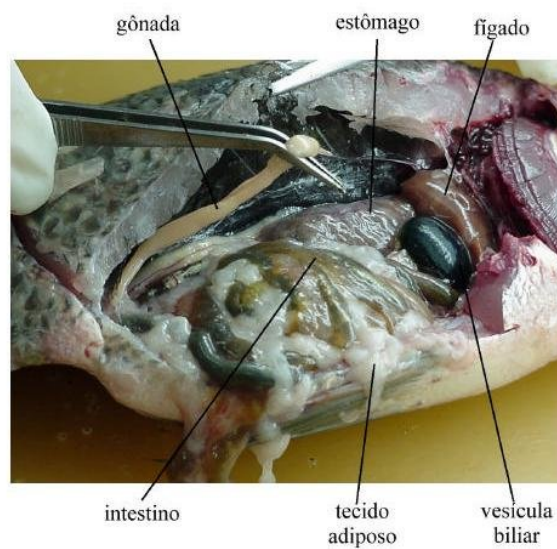
O coração é simples, composto de dois compartimentos. O sangue que vem do corpo vai para o seio venoso e depois segue para a aurícula e, na sequência, para o ventrículo. Essas passagens possuem uma espécie de válvula unidirecional, que impede o fluxo do sangue em sentido contrário. Do ventrículo o sangue vai para o cone arterial e aorta ventral, daí passando para quatro pares de artérias branquiais.

A respiração é feita pelas brânquias. Os opérculos ficam fechados e a água entra pela boca aberta; há contração dos arcos branquiais, os opérculos se abrem e a água é forçada para fora, passando antes pelos filamentos branquiais, onde se dá a oxigenação.

Na porção dorsal do corpo nos peixes ósseos localiza-se bexiga natatória. Na bexiga



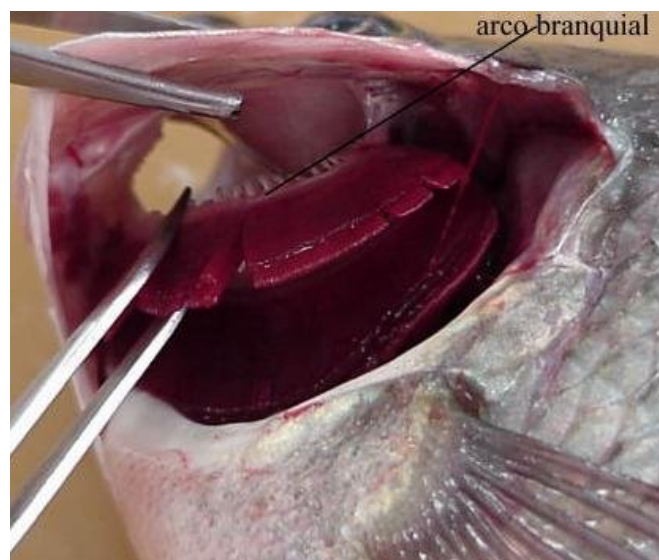
**Figura 8: Vista frontal da boca da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)**  
**Fonte: Bossolan (2001)**



**Figura 9: Vista ventro-lateral da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)**  
**Fonte: Bossolan (2001)**



**Figura 10: Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) dissecada**  
**Fonte: Bossolan (2001)**

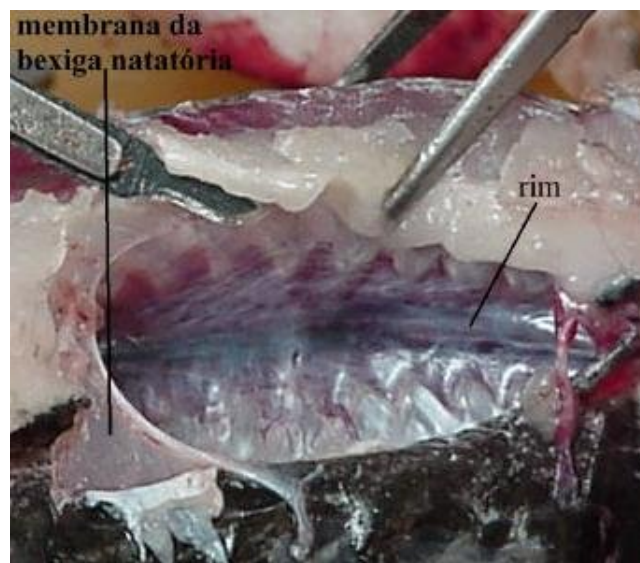


**Figura 11: Arco branquial da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)**  
**Fonte: Bossolan (2001)**



encontram-se os gases oxigênio, nitrogênio e gás carbônico. Trata-se de um órgão hidrostático, que ajusta o peso específico do peixe ao da água em diferentes profundidades. Serve para economizar energia. A bexiga natatória dos peixes pulmonados (pirambóia) é parecida com um pulmão.

O aparelho excretor é constituído de dois rins, situados entre a bexiga natatória e as vértebras. Cada rim possui um ureter tubular, por onde passam os excrementos nitrogenados e fluidos, que chegam à bexiga urinária, que descarrega seu conteúdo para o exterior através do seio urogenital. Uma glândula de secreção interna relevante é a hipófise, relacionada com o crescimento e com o desenvolvimento das gônadas.



**Figura 12: Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*).**  
**Fonte: Bossolan (2001)**

Entre as tilápias o macho é praticamente 3 vezes maior que a fêmea fato importante quando o intuito é a criação comercial.

### **3.3 Levantamento de dados climatológicos**

O clima é o principal fator a que se deve o problema que este trabalho se propõe a solucionar, ou seja, mortandade dos peixes em situações críticas de temperatura.

Além da temperatura, índices pluviométricos, incidência solar e regimes eólicos interferem sobre as condições físico-químicas dos ambientes aquáticos. Sendo assim, compreender o clima é uma condição essencial quando se deseja propor ações no sentido de melhorar o desenvolvimento de organismos diretamente influenciáveis pelas condições climáticas.

O estudo foi direcionado ao estado do Paraná, mais especificamente na área metropolitana de Curitiba, onde os testes serão realizados. Os índices e informações coletadas para as análises vão desde os índices de precipitação, temperaturas médias, insolação, direção e intensidade dos ventos.

Os valores de temperatura em dias frios são importantes por dois motivos:

1. levantamento estatístico da quantidade de horas anuais que apresentam faixas de temperaturas letais ao peixe.
2. o conhecimento dos índices eólicos e solares para a análise da independência do projeto em relação à rede elétrica.

### **3.3.1 Índices de precipitação**

Segundo o livro cartas climáticas do estado do Paraná, o termo precipitação é usado para definir qualquer deposição em forma líquida ou sólida proveniente da atmosfera, incluindo grânizo, neve, neblina, chuvisco, orvalho e outros hidrometeoros, e principalmente a chuva.

As chuvas influenciam na qualidade e também na oferta de água para o piscicultor. Todos os rios situados no estado do Paraná são de regime pluvial, ou seja, dependem das chuvas para manter a sua perenidade. Outro aspecto é o fato de as chuvas afetarem a água dos tanques e mudar seu pH com a formação de componentes químicos como o ácido carbônico.

Para região da cidade de Curitiba, a média de precipitação anual é de 1500 mm de chuva. O comportamento das precipitações nesta região tem uma variação de 100 mm entre os meses com maior (Janeiro) e menor (Junho) índices.

Vários dados sobre a pluviosidade das diversas áreas do estado do Paraná podem ser vistas nas cartas climáticas que seguem abaixo.

### **3.3.2 Temperatura da atmosfera**

A temperatura do ar é o fator climático que interfere ativamente nos ambientes e ecossistemas. O conhecimento da sua média e valor estimado para uma região em determinadas épocas permite prever o a sua relação sazonal com as entidades biológicas que vivem neste meio.

O valor médio anual que a temperatura costuma assumir na região sul do estado do Paraná é de 19°C, com 12°C no mês de junho, mais frio, e 22° no mês de Dezembro, mais quente. Estes

dados foram retirados de estudos feitos pelo IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná, ao longo de 15 anos, entre 1976 a 1990 (IAPAR, 1994).

A coleta de dados realizada pelo IAPAR foi realizada registrando-se a temperatura máxima, mínima, às 9 horas e às 21 horas de todos os dias, e feito o cálculo da média diária ao longo dos 15 anos. A fórmula utilizada está exposta a seguir. Sendo assim, por meio deste capítulo, faz-se necessário uma vez que a carga térmica necessária dentro do refúgio, para manter um nível de temperatura adequado à fisiologia do peixe, depende diretamente da temperatura do meio como um todo.

$$temp.media = \frac{T_9 + (2.T_{21}) + T_{max} + T_{min}}{5} \quad (3.1)$$

As condições climáticas, conforme o livro Cartas Climáticas do Paraná, afetam os processos biofísicos e bioquímicos que condicionam o metabolismo dos seres vivos, conseqüentemente o seu desenvolvimento.

### 3.3.3 Índices de insolação

Conforme definição da enciclopédia agrícola brasileira, 2008, a insolação descreve a quantidade de radiação solar recebida por objetos na superfície da terra. O índice de insolação é essencial para o ecossistema com um todo, a flora depende do processo fotossintético e para a fauna são os processos bioquímicos e fisiológicos que dependem da luz solar.

insolação de uma localidade está ligada principalmente a duração do período diurno, ou seja, da latitude onde se encontra a região, no entanto características do relevo e a presença de nuvens interferem neste parâmetro.

O número de horas de insolação no Paraná varia anualmente dentro da faixa de 1600 a 2600 horas, que correspondem 36% e 59% da insolação máxima possível.

### 3.3.4 Horas de dia frio abaixo de 7°C e dias de geada por ano.

A mortalidade píceia está ligada aos valores baixos de temperatura, em dias de frio intenso podem ocorrer perdas consideráveis, até mesmo totais, de peixes de origem tropical. Portanto, o conhecimento estatístico do número de horas anuais de temperatura baixas, permite uma estimativa macro dos períodos críticos e que podem por em risco a vida dos peixes.

A região de Curitiba enfrenta anualmente em torno de 200 horas de frio intenso, abaixo de



7 °C, com um número médio de 10 geadas. Pode-se considerar que este é o período mínimo de horas anuais que o dispositivo em desenvolvimento por este trabalho poderá atuar para preservar a vida dos peixes.

### **3.3.5 Direção do vento**

O vento é definido como o movimento relativo entre o ar e o solo, originado por uma diferença de pressão causada por temperaturas diversas, sendo a sua direção influenciada pelo relevo.

A distribuição de ventos na região de Curitiba, especificamente Piraquara, é predominantemente leste e nordeste sendo a sua intensidade média em torno de 5.5 m/s. (COPEL, 2007)

Para uma possível análise técnico-econômica para implantação de um gerador eólico para alimentação do complexo como um todo, o entendimento dos índices e características dos ventos no Paraná, faz-se necessário. A importância dentro dos mecanismos naturais da natureza se dá, pois vento atua dissolvendo gases dentro da água.

## **3.4 Ensaio de validação comportamental**

Segundo Lund e Figueira (1989), a tilápia nilótica vive bem a uma temperatura de 18°C a 28 °C. e em temperaturas abaixo de 12°C ela morre. Essa constatação norteou a realização de ensaios que simulassem situações críticas para a sobrevivência do peixe.

Dada a necessidade de se verificar a validade da hipótese biológica comportamental levantada por este trabalho de conclusão de curso de os peixes se refugiarem voluntariamente em um compartimento de volume restrito e termicamente mais adequado à sua fisiologia, quando da deterioração climática do meio externo de cultivo, construiu-se um protótipo para a simulação dos cenários ambientais adversos.

As características construtivas do aquário de testes, bem como a metodologia dos ensaios, serão descritas na sequência

### **3.4.1 Aquário de testes**

Como pode ser observado no aquário de testes apresentado pela figura 13, o mesmo foi dividido em duas partes através de uma parede térmica cuidadosamente construída, entre as

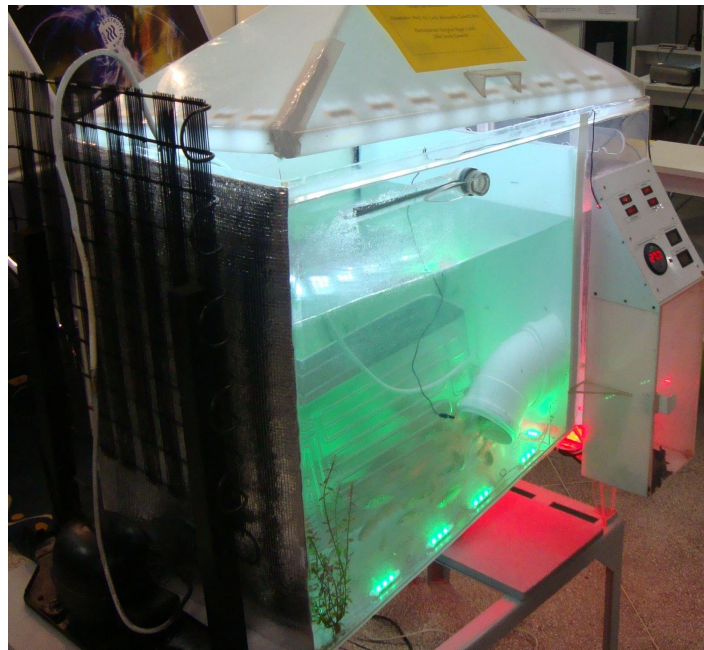
duas regiões, uma região representativa do refúgio térmico e a outra como área de livre trânsito que simula o tanque.

Na parede térmica foi embutido um canal de acesso com curvatura descendente para o lado da área de livre trânsito. Essa curvatura tende a diminuir as trocas de calor, já que água quente tende a subir para as camadas superiores.

Uma vez que esse canal de seção diminuta é a única porta de entrada e que seu contorno impõe um obstáculo adicional para acesso ao refúgio, a passagem por esse caminho reforça a suposição de que a tilápia busca um ambiente mais adequado.

Construtivamente a parede térmica foi composta por duas camadas de chapa de poliestireno (PS) virgem, duas camadas de manta térmica com face refletiva e no meio desses materiais uma chapa de isopor. Essa conformação foi instalada no aquário de testes de forma que limitasse o refúgio a 20% do tanque. O canal de acesso foi composto por dois canos de PVC de 150 mm de diâmetro. As arestas foram vedadas com silicone.

A carcaça do aquário de testes foi proveniente de uma doação do DAMEC (Departamento Acadêmico de Mecânica) da UTFPR. Inicialmente tratava-se de uma câmara para ensaios de corrosão que estava sendo sucateada. Após um trabalho de limpeza, reforma e adequação foi possível o seu uso para os testes iniciais.



**Figura 13: Tanque de ensaios**  
**Fonte: Autoria própria**

Para simulação de um dia crítico de temperatura baixa, optou-se inicialmente pelo uso de gelo. Contudo, após a tentativa de se realizar ensaios por este procedimento, percebeu-se a inevitabilidade da inclusão de um sistema que continuamente retirasse calor do aquário de testes. As quantidades de gelo envolvidas estavam dificultando a realização dos testes, isso por dois motivos:

(a) a introdução de gelo dentro do aquário, por ser uma intervenção externa, poderia influenciar no comportamento dos peixes.

(b) em um dia de temperatura ambiente a 25°C (outubro), para se abaixar à uma temperatura 12°C toda a água do aquário de testes que possui 400 litros, seriam necessários 57 quilogramas de gelo. Essa estimativa, conforme cálculos abaixo, não leva em conta toda a troca de calor com o meio externo.

$$Q_1 = m_1.c.\Delta T_1 \quad (3.2)$$

$$Q_2 = m_2.c.\Delta T_1 \quad (3.3)$$

$$Q_{L2} = m_2.L \quad (3.4)$$

Os índices 1 e 2 denotam, respectivamente, a massa de água dentro do aquário de testes e a massa de gelo inserida dentro do tanque. Assim, tem-se:

$$Q_1 + Q_2 + Q_{L2} = 0$$

$$m_1.c.\Delta T_1 + m_2.c.\Delta T_1 + m_2.L = 0$$

$$40000.1.(25 - 12) + m_2.1.(0 - 12) - m_2.80 = 0$$

$$m_2 \approx 57000g$$

$$m_2 \approx 57kg$$

Essa quantidade, após os cálculos, invalidou a tentativa de se usar gelo. Iniciou-se então a procura por soluções alternativas.

Foi feita a aquisição de uma geladeira antiga. O objetivo era adaptar o sistema de refrigeração ao aquário de forma a permitir simular de forma eficiente temperaturas adversas para os peixes.

A geladeira foi desmontada e dela retirado o seu trocador de calor. Esse sistema de refrige-

ração foi adaptado ao protótipo. O compressor e o condensador foram fixados na base metálica do aquário. O freezer foi inserido dentro da água.

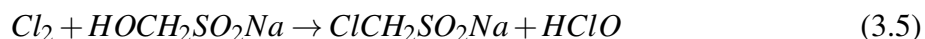
Dessa forma, atingiu-se um sistema que gradativamente abaixava a temperatura da água dentro do aquário para simulação de temperaturas críticas por uso combinado, ora do sistema de refrigeração, ora do conjunto de aquecimento controlador-resistência elétrica.

Os acessórios instalados neste primeiro protótipo e que permitiram a realização dos ensaios de validação comportamental são (vide esquema da figura 13):

- Uma bomba de oxigenação e filtro de água com capacidade de 650l/h;
- Uma resistência elétrica com potência de 600W e tensão aplicada de 220V;
- Um controlador on/off programável;
- Um transformador de 110V/220V;
- 5 termômetros de mercúrio com escala de -10 à 100°C;
- Um sistema de iluminação por lâmpadas de LED.
- Um sistema de refrigeração de 300W.

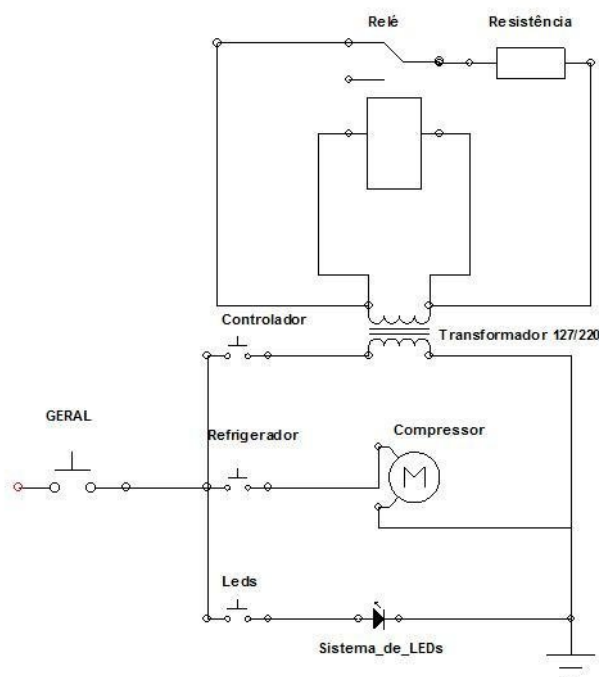
### 3.4.2 Metodologia

Em um primeiro estágio foram introduzidos aproximadamente 400 litros de água. A remoção do cloro foi feita ao seu usar o condicionador de água de marca Protect™, cuja substância base é o hidroximetano-sulfinato de sódio.



Instalaram-se a bomba de oxigenação, os termômetros, o sistema de resfriamento, o controlador e o sistema de iluminação. Na sequência contruiu-se um painel de comando conforme ligação da figura 14.

Os testes foram realizados de forma a minimizar as interferências, tais como ruídos sonoros e iluminação não uniforme. Um sistema de iluminação por lâmpadas de LED mantinha o nível de iluminamento acima de um patamar estabelecido em duzentos e oitenta lux, grau de iluminância necessário para realizar trabalhos manuais de pouca precisão.



**Figura 14: Esquema de ligação elétrica do aquário.**  
**Fonte: Autoria própria**

Iniciou-se um processo de adaptação do peixe ao seu novo meio com a inserção, no aquário de testes, do recipiente onde as tilápias estavam confinadas. Dessa forma, a temperatura recipiente-aquário foi gradativamente equalizada.

Atingido o equilíbrio térmico, pequenas volumes de água do tanque foram misturados ao recipiente para uma adaptação fisiológica do peixe às condições químicas da água de seu novo meio. Posteriormente uma pequena abertura no recipiente foi feita para que voluntariamente as tilápias se deslocassem para o aquário. A importância deste procedimento dá-se na diminuição do estresse do peixe.

A etapa posterior à adaptação dos peixes foi o resfriamento gradativo da água, que se encontrava em equilíbrio a vinte cinco graus Celsius. O limite inferior estabelecido para o resfriamento foi baseado nas referências bibliográficas, em doze graus Celsius, que é o suportado pelas tilápias.

Desligou-se o sistema de refrigeração em 11°C e no momento em que todos os termômetros presentes no aquário atingiram a temperatura estipulada de 12°C, configurando o equilíbrio térmico, acionou-se o sistema de aquecimento através do controlador. Vale salientar que o sistema de refrigeração da água precisou trabalhar 19h seguidas para se atingir este patamar de

temperatura.

Pontualmente, em intervalos de 20min, foram feitos registros das leituras dos cinco termômetros estrategicamente localizados, da quantidade de peixes no refúgio e na área de livre trânsito. O aquecimento do aquário, dada a configuração física e a existência de uma parede térmica, resultava em valores mais altos no lado do refúgio – estes valores serão mostrados a seguir.

Conforme dito nos parágrafos precedentes, o experimento simulou situações críticas para sobrevivência do peixe. Por tal razão, o ensaio teve uma longa duração, 18 horas seguidas, uma vez que se iniciou da temperatura crítica inferior, 12°C, até o limite de 40°C.

Além dos dados coletados, vídeos e fotos foram rotineiramente coletados no decorrer do ensaio para documentação do experimento.

### **3.4.3 Resultados observados**

O objetivo primordial dos ensaios era comprovar, ou não, a hipótese de as tilápias buscarem ambientes termicamente mais condizentes com as suas características fisiológicas. Os ensaios, entretanto, permitiram a verificação não apenas da hipótese, como também de outras características comportamentais, tais como aumento da atividade metabólica dos peixes e da procura por alimentos com a elevação da temperatura.

A observação desses comportamentos corrobora com o fato de que animais pecilotérmicos, tais como os peixes, são extremamente suscetíveis às variações de temperatura, pois o metabolismo e as funções biológicas destes animais estão ligados diretamente a esta característica física do ambiente.

Nas situações críticas de temperatura baixa, alguns comportamentos peculiares foram observados. Os peixes tinham a tendência de manterem-se em cardume, próximos um do outro, no fundo do aquário e voltados para a mesma direção. Mesmo com a oferta de ração os peixes mantinham esse comportamento, sem ir em busca do alimento.

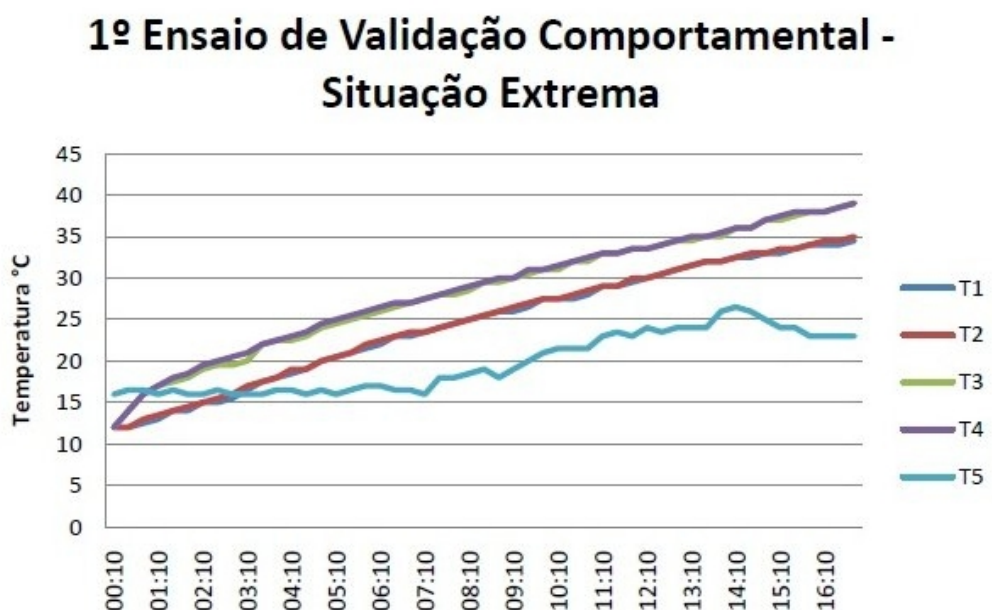
Quando, no entanto, em situações críticas de temperatura elevada, uma diferença comportamental bastante acentuada foi observada. Os peixes estavam mais ativos, nadando de forma independente, sem agirem em grupo. Estavam mais agressivos pela luta da ração. Seu metabolismo aparentemente funcionando mais rapidamente permitia aos peixes consumirem mais alimento que o normal.

O excremento mudou de um marrom para um verde e ao invés de se acumular no fundo do aquário, como acontecia em situações de estabilidade térmica, passou a emergir. Verificou-se também que o ritmo do “boquejamento” tornou-se mais acelerado e eles iam constantemente à superfície, o que pode ser associado ao fato de que em temperaturas maiores a solubilidade do oxigênio é menor (discussão desse efeito no item 4.3 deste trabalho).

A coleta de dados do experimento foi feita em intervalos de 20 minutos, com um total de 54 aferições, perfazendo um ensaio de 18 horas consecutivas. As variáveis observadas e tabeladas foram:

- Temperatura em cada um dos cinco termômetros estrategicamente localizados no aquário, vide figura 16: um na região mais afastada da área de livre trânsito, um no bocal do canal de acesso ao refúgio, um na saída do canal de acesso ao refúgio, um na região mais afastada do refúgio e um para medida da temperatura ambiente.
- Quantidade de peixes dentro e fora da região que simula o refúgio térmico.

A conformação física do aquário permitiu a manutenção de uma diferença de temperatura de 4°C entre os dois ambientes separados pela parede térmica. Essa diferença de temperatura se estabeleceu após os 40 primeiros minutos de ensaio. As marcações dos valores medidos pelos termômetros estão mostrados na tabela 3 e o gráfico na figura 15, apresentados a seguir.



**Figura 15: Leitura dos termômetros.**

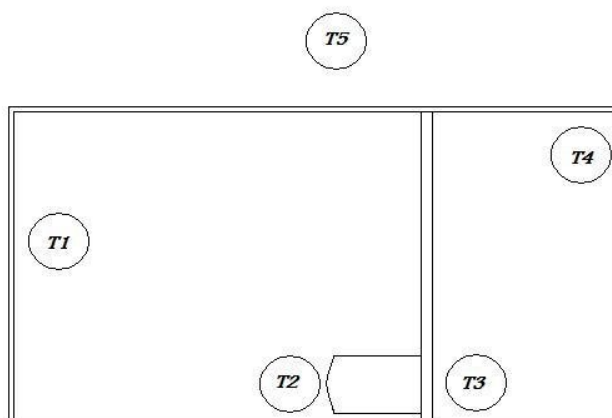
Tabela 3: Temperatura e a disposição das tilápias

| Hora  | Temperatura (°C) |      |      |      |      | Tilápias no Refúgio |      |
|-------|------------------|------|------|------|------|---------------------|------|
| t     | T1               | T2   | T3   | T4   | T5   | N                   | %    |
| 00:10 | 12               | 12   | 12   | 12   | 16   | 0                   | 0,0  |
| 00:30 | 12               | 12   | 14   | 14   | 16,5 | 27                  | 51,9 |
| 00:50 | 12,5             | 13   | 16   | 16   | 16,5 | 50                  | 96,2 |
| 01:10 | 13               | 13,5 | 17   | 17   | 16   | 50                  | 96,2 |
| 01:30 | 14               | 14   | 17,5 | 18   | 16,5 | 52                  | 100  |
| 01:50 | 14               | 14,5 | 18   | 18,5 | 16   | 50                  | 96,2 |
| 02:10 | 15               | 15   | 19   | 19,5 | 16   | 50                  | 96,2 |
| 02:30 | 15               | 15,5 | 19,5 | 20   | 16,5 | 52                  | 100  |
| 02:50 | 15,5             | 16   | 19,5 | 20,5 | 16   | 52                  | 100  |
| 03:10 | 16,5             | 17   | 20   | 21   | 16   | 52                  | 100  |
| 03:30 | 17,5             | 17,5 | 22   | 22   | 16   | 52                  | 100  |
| 03:50 | 18               | 18   | 22,5 | 22,5 | 16,5 | 52                  | 100  |
| 04:10 | 18,5             | 19   | 22,5 | 23   | 16,5 | 50                  | 96,2 |
| 04:30 | 19               | 19   | 23   | 23,5 | 16   | 50                  | 96,2 |
| 04:50 | 20               | 20   | 24   | 24,5 | 16,5 | 52                  | 100  |
| 05:10 | 20,5             | 20,5 | 24,5 | 25   | 16   | 52                  | 100  |
| 05:30 | 21               | 21   | 25   | 25,5 | 16,5 | 52                  | 100  |
| 05:50 | 21,5             | 22   | 25,5 | 26   | 17   | 51                  | 98,1 |
| 06:10 | 22               | 22,5 | 26   | 26,5 | 17   | 51                  | 98,1 |
| 06:30 | 23               | 23   | 26,5 | 27   | 16,5 | 47                  | 90,4 |
| 06:50 | 23               | 23,5 | 27   | 27   | 16,5 | 51                  | 98,1 |
| 07:10 | 23,5             | 23,5 | 27,5 | 27,5 | 16   | 51                  | 98,1 |
| 07:30 | 24               | 24   | 28   | 28   | 18   | 50                  | 96,2 |
| 07:50 | 24,5             | 24,5 | 28   | 28,5 | 18   | 50                  | 96,2 |
| 08:10 | 25               | 25   | 28,5 | 29   | 18,5 | 50                  | 96,2 |
| 08:30 | 25,5             | 25,5 | 29,5 | 29,5 | 19   | 49                  | 94,2 |
| 08:50 | 26               | 26   | 29,5 | 30   | 18   | 49                  | 94,2 |
| 09:10 | 26               | 26,5 | 30   | 30   | 19   | 50                  | 96,2 |
| 09:30 | 26,5             | 27   | 30,5 | 31   | 20   | 44                  | 84,6 |
| 09:50 | 27,5             | 27,5 | 31   | 31   | 21   | 34                  | 65,4 |
| 10:10 | 27,5             | 27,5 | 31   | 31,5 | 21,5 | 21                  | 40,4 |
| 10:30 | 27,5             | 28   | 32   | 32   | 21,5 | 24                  | 46,4 |
| 10:50 | 28               | 28,5 | 32   | 32,5 | 21,5 | 9                   | 17,3 |
| 11:10 | 29               | 29   | 33   | 33   | 23   | 22                  | 42,3 |
| 11:30 | 29               | 29   | 33   | 33   | 23,5 | 19                  | 36,5 |
| 11:50 | 29,5             | 30   | 33,5 | 33,5 | 23   | 18                  | 34,6 |
| 12:10 | 30               | 30   | 33,5 | 33,5 | 24   | 15                  | 28,8 |
| 12:30 | 30,5             | 30,5 | 34   | 34   | 23,5 | 16                  | 30,8 |
| 12:50 | 31               | 31   | 34,5 | 34,5 | 24   | 19                  | 36,5 |
| 13:10 | 31,5             | 31,5 | 34,5 | 35   | 24   | 22                  | 42,3 |



| Hora  | Temperatura (°C) |      |      |      |      | Tilápias no Refúgio |      |
|-------|------------------|------|------|------|------|---------------------|------|
|       | T1               | T2   | T3   | T4   | T5   | N                   | %    |
| 13:10 | 31,5             | 31,5 | 34,5 | 35   | 24   | 22                  | 42,3 |
| 13:30 | 32               | 32   | 35   | 35   | 24   | 16                  | 30,8 |
| 13:50 | 32               | 32   | 35   | 35,5 | 26   | 9                   | 17,3 |
| 14:10 | 32,5             | 32,5 | 36   | 36   | 26,5 | 5                   | 9,6  |
| 14:30 | 32,5             | 33   | 36   | 36   | 26   | 3                   | 5,8  |
| 14:50 | 33               | 33   | 37   | 37   | 25   | 7                   | 13,5 |
| 15:10 | 33               | 33,5 | 37   | 37,5 | 24   | 10                  | 19,2 |
| 15:30 | 33,5             | 33,5 | 37,5 | 38   | 24   | 7                   | 13,5 |
| 15:50 | 34               | 34   | 38   | 38   | 23   | 5                   | 9,6  |
| 16:10 | 34               | 34,5 | 38   | 38   | 23   | 5                   | 9,6  |
| 16:30 | 34               | 34,5 | 38,5 | 38,5 | 23   | 3                   | 5,8  |
| 16:50 | 34,5             | 35   | 39   | 39   | 23   | 4                   | 7,7  |
| 17:10 | 35               | 35   | 39   | 39   | 23   | 2                   | 3,8  |
| 17:30 | 35               | 35,5 | 39   | 39,5 | 22,5 | 4                   | 7,7  |
| 17:50 | 35,5             | 35,5 | 39,5 | 39,5 | 22   | 4                   | 7,7  |

Fonte: Autoria própria



**Figura 16: Vista superior: termômetros dentro do aquário de testes.**

Fonte: Autoria própria

Legenda para a figura 16:

T1: termômetro área livre trânsito

T2: termômetro entrada canal de acesso ao refúgio

T3: termômetro saída canal de acesso ao refúgio

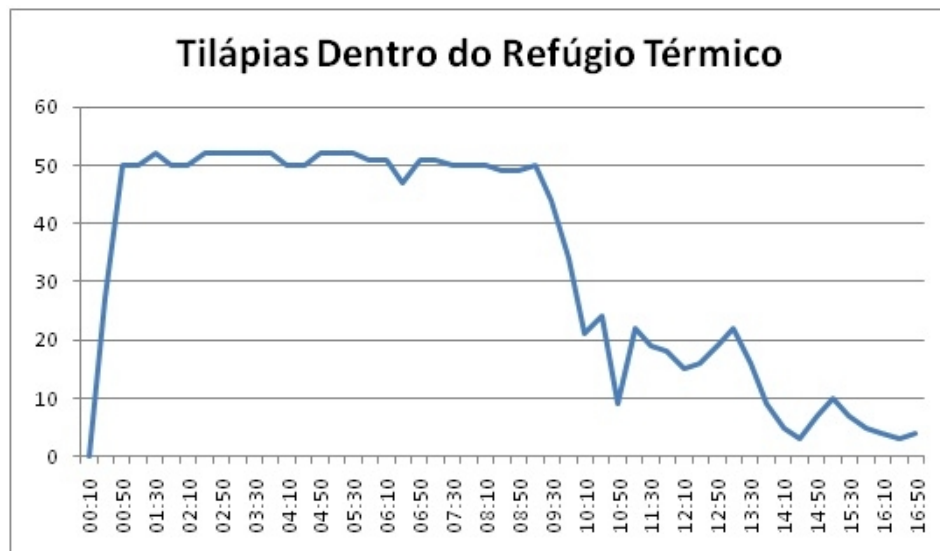
T4: termômetro região do refúgio Térmico

T5: temperatura ambiente

O experimento exemplificou os valores retirados das referências que indicam uma faixa mais agradável à vida da tilápia encontra-se na faixa de 18°C a 28°C. Valores tabelados em roxo. Dentro dessa faixa, o peixe prioritariamente situava-se na região mais quente, representada pelo lado do refúgio.

Com o acréscimo gradual de temperatura e extrapolado o limite de 30°C os peixes iniciaram o processo de migração reversa, então do refúgio para uma região menos quente. Valores tabelados em laranja.

Os dois comportamentos descritos acima podem ser percebidos claramente no gráfico abaixo, com a observação de que às 09h30 a temperatura do lado do refúgio estava em 31°C e no outro lado 27,5°C, que marca o início da migração reversa, saída das tilápias por representar uma situação crítica de temperatura superior.



**Figura 17: Quantidade de tilápias no refúgio.**

Os peixes utilizados para o ensaio tinham em média o tamanho de nove centímetros de comprimento. O cuidado na seleção da amostra de peixes deu-se em selecionar uma quantidade razoável para o volume do aquário de forma que os resultados fossem estaticamente mais confiáveis, e que os peixes tivessem aproximadamente os mesmos tamanhos, no intuito de evitar interferências comportamentais.

### 3.5 Formulação do problema

A ordem de apresentação dos capítulos deste trabalho é tal que busca estabelecer o problema a ser resolvido em toda sua dimensão pluridisciplinar. Inicialmente, a contextualização histórica da cultura milenar que é a piscicultura permite entender a sua importância, o seu desenvolvimento no mundo, no Brasil e por fim na região sul.

A compreensão macro dos aspectos ambientais fornece subsídios para a delimitação das variáveis que influenciam diretamente no desenvolvimento dos peixes. Tais aspectos, particularmente temperatura e oxigenação, foram entendidos como as condições de contorno para a análise sistemática do ponto de vista da engenharia da situação-problema.

Ao se estabelecer as condições de contorno, ou seja, (a) tópicos de limnologia, para compreensão das variáveis físicas e químicas da água e (b) tópicos de ictiologia, para compreensão da fisiologia e anatomia dos peixes, foi possível estabelecer as fronteiras, ou seja, os limites que permitirão a resolução do exercício chave: sobrevida em situações críticas de temperatura e oxigenação.

## 4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 4.1 Escoamento de fluídos incompressíveis sem viscosidade

Os fluídos são compostos de moléculas que estão em constante movimento. O enfoque molecular considera a matéria descontínua, isto é, constituída por moléculas e espaços vazios entre elas.

Contudo, na maior parte das aplicações práticas para a Engenharia, o importante são os resultados macroscópicos, ou seja, sem a preocupação com o comportamento isolado de suas moléculas. Dessa forma, é conveniente tratar o fluído como um contínuo. A hipótese do contínuo é justamente a base da Mecânica dos Fluídos.

Como consequência direta dessa hipótese é possível abstrair-se da descontinuidade do enfoque molecular. Mesmo quando desconsideradas partes infinitesimais, tais partes devem apresentar as mesmas propriedades que a matéria tratada de forma macroscópica. Dessa forma, no estudo das propriedades de um fluído utiliza-se ferramentas diferenciais matemáticas, ao se considerar a continuidade, torna esse facilitado.

As propriedades dos fluídos tais como densidade, temperatura, velocidade e outras são consideradas funções contínuas no tempo e no espaço.

#### 4.1.1 Equação de Bernouilli

No capítulo 5, Modelagens, especificamente na modelagem de vazão, como hipóteses simplificadoras assumir-se-á, entre outras considerações, com o objetivo evitar uma complexidade desnecessária, que (a) o fluído é incompressível e (b) sem viscosidade.

Nos processos reais qualquer fluído possui viscosidade. Todavia, desconsiderar essa propriedade não traz prejuízos na investigação macroscópica do evento físico. Em suma, geralmente,

ao se trabalhar com um fluido que possa ser considerado ideal, considera-o de viscosidade nula, e ainda mais, incompressível.

Tais limitações, assumidas nas modelagens dos processos de mecânica dos fluidos deste trabalho, permitem o uso de famosa equação de Bernoulli a qual só é possível aplicar quando se restringe aos fluidos com (a) movimento permanente, (b) escoamento sem atrito, (c) fluido incompressível e (d) cujo escoamento seja em uma linha de corrente.

A dedução matemática desta equação foge do escopo deste trabalho, mas sugere-se ao leitor interessado a consulta, entre outras fontes, da referência bibliográfica deste trabalho.

A equação de Bernoulli, assumidas as restrições supracitadas, pode ser aplicada a dois pontos quaisquer distintos de uma linha de corrente, em sistemas inerciais de referência (essa lei advém da integração da segunda lei de Newton). Essa equação pode ser escrita matematicamente como:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (4.1)$$

Em que os subscritos 1 e 2 representam quaisquer pontos pertencentes à linha de corrente.

## 4.2 Transferência de calor

### 4.2.1 Condução

A condução de calor é a difusão de energia devido ao movimento molecular aleatório, tendo, portanto, relação com o transporte de energia em um meio devido ao gradiente de temperatura. A lei que rege a transferência de calor por condução é conhecida como Lei de Fourier. Para o manejo dessa lei é preciso saber a forma de distribuição da temperatura no meio. Nos transientes multidimensionais com geometrias complexas nem sempre a distribuição de temperatura é evidente.

Subentende-se no uso da Lei de Fourier que o meio de condução é isotrópico, ou seja, o valor da condutividade térmica independe da direção dos eixos coordenados. Para a resolução analítica desta equação é preciso a determinação inicial do campo de temperaturas do meio, considerando-se as suas condições fronteiriças. Para a determinação desta distribuição usa-se conservação de energia.

O procedimento metodológico para o equacionamento da conservação da energia inicia

com a definição de um volume de controle diferencial, e então se analisa os processos de transferência de energia com a introdução das equações das taxas de transferência de calor adequadas. Obtém-se assim, através da resolução da equação diferencial obtida, a distribuição de temperaturas no meio.

Os equacionamentos matemáticos de um sistema com geração interna de energia, em sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas e esféricas servirão de baliza para o estudo da melhor conformidade física do refúgio térmico.

Optou-se, sempre que possível, apresentar resultados e formulações julgados necessários. Ao leitor interessado em aprofundar-se nas respectivas deduções, sugere-se a leitura dos livros que tratam de transferência de calor constantes nas referências bibliográficas deste trabalho como Braga e Incropera e DeWitt.

#### 4.2.1.1 Conservação da energia e campo de temperaturas

Para modelar a conservação de energia considera-se um meio homogêneo cujo volume de controle infinitesimal diferencial será expresso  $\Delta V$ .

Com a primeira lei da termodinâmica, pode-se equacionar o problema em um dado instante de tempo. Uma etapa subsequente da análise é a consideração dos processos de energia envolvidos pelo volume diferencial definido.

A representação da conservação da energia no confinamento do volume de controle, é escrita como:

$$\dot{E}_e + \dot{E}_g - \dot{E}_s = \dot{E}_{ar} \quad (4.2)$$

Os termos envolvidos nessa equação são:

- Com a consideração de o meio possuir uma fonte de energia, representa-se essa geração interna por:

$$\dot{E}_g = \dot{q}\Delta V. \quad (4.3)$$

Em que  $\dot{q}$  é a taxa de geração de energia por unidade de volume do meio ( $\frac{W}{m^3}$ ). Essa energia gerada representa a ocorrência da conversão em energia térmica de um processo químico, elétrico e/ou nuclear.

- A quantidade de energia interna armazenada no volume de controle, desconsiderando-se uma possível mudança de fase do material, é dada por:

$$\dot{E}_{ar} = \rho c_p \frac{\partial q_T}{\partial t} \Delta V \quad (4.4)$$

Em que  $\rho c_p \frac{\partial q_T}{\partial t}$  é a taxa de variação da energia sensível no tempo.

- Representa-se as taxas de condução que entram,  $\dot{E}_e$ .
- Representa-se as taxas de condução que saem,  $\dot{E}_s$ .

#### 4.2.1.2 Resistência térmica na condução

A taxa de transferência de calor por uma parede plana pode ser equacionado da seguinte maneira:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{kA}} \quad (4.5)$$

O termo do denominador e do numerador tem os seguintes significados:

1.  $(\Delta T)$ , a diferença entre a temperatura da superfície quente e da superfície fria, consiste no potencial que causa a transferência de calor.
2.  $(\frac{\Delta T}{\frac{L}{kA}})$  é equivalente a uma resistência térmica (R) que a parede oferece à diferença de temperatura, ou seja, transferência de calor.

Portanto, a taxa de transferência de calor através da parede plana pode ser expresso:

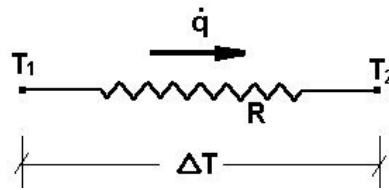
$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (4.6)$$

Nessa expressão é o potencial térmico e R a resistência térmica da parede.

Ao se substituir o símbolo do potencial de temperatura T pelo de potencial elétrico, isto é, U, e o símbolo da resistência térmica R por  $R_e$ , chega-se à conhecida lei de Ohm:

$$i = \frac{\Delta U}{R_e} \quad (4.7)$$

Desta forma, uma parede de resistência  $R$ , submetida a um potencial  $T$  e atravessada por um fluxo de calor, pode ser representada por:



**Figura 18: Resistência térmica**  
**Fonte: Incropera e DeWitt (2002)**

## 4.2.2 Convecção

A convecção representa o processo de transferência de energia das regiões quentes para as frias de um fluido pela ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento global do fluido.

### 4.2.2.1 Lei de Newton da convecção

Há também estreita ligação com o mecanismo que move o escoamento, isto é, natural ou forçada. Na convecção forçada, o movimento do fluido é suportado por meios artificiais como ventiladores. Na convecção natural, o movimento surge pelo efeito do calor que aquece regiões do fluido de forma distinta e causa uma diferença de densidades que é traduzida na forma de “correntes convectivas”.

A transferência de calor por convecção, na unidade de tempo, entre uma superfície e um fluido, pode ser calculada através da relação:

$$\dot{q} = hA\Delta T \quad (4.8)$$

1.  $\dot{q}$ - Fluxo de calor transferido por convecção (kcal/h);
2.  $A$ - Área de transferência de calor ( $m^2$ );
3.  $T$ - Diferença de temperatura entre a superfície ( $T_s$ ) e a do fluido em um local bastante afastado da superfície ( $T$ ) ( $^{\circ}C$ ).
4.  $h$  - Coeficiente de transferência de calor por convecção ou coeficiente de película.



O coeficiente de convecção possui relação direta com a conformidade geométrica do escoamento. Depende também do regime do escoamento: laminar ou turbulento, incompressível ou compressível, subsônico ou supersônico.

O coeficiente de película tem uma dependência complexa com o escoamento do fluido, as propriedades físicas do meio fluido e da geometria do sistema. Geralmente, seu valor numérico não é constante sobre a superfície. Por tal razão, comumente se usa um valor numérico médio.

#### 4.2.2.2 Resistência térmica na convecção

A formulação para o fluxo de calor transferido por convecção é:

$$\dot{q} = hA\Delta T \quad (4.9)$$

Um fluxo de calor, entretanto, é uma relação entre um potencial térmico e uma resistência:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (4.10)$$

Ao se igualar as expressões acima, tem-se a resistência térmica

$$R = \frac{1}{hA} \quad (4.11)$$

#### 4.2.3 Capacitância térmica

Capacitância térmica é definida como o produto do calor específico com a massa. Define a quantidade de energia que foi inserida, ou retirada, em uma certa massa para uma certa variação de temperatura.

$$C_t = c_p \cdot m \left[ \frac{kJ}{K} \right] \quad (4.12)$$

## 4.3 Solubilidade do oxigênio na água

### 4.3.1 Introdução

De acordo com Fiorucci e Benedetti Filho (2005), nos ecossistemas aquáticos, as reações de oxidação e redução exercem papel primordial na manutenção da vida.

Baseado na solubilidade do  $O_2$ , fica notório que os organismos aquáticos tropicais têm menos oxigênio disponível do que os de ambientes aquáticos de clima temperado. Essa constatação assume importância quando se considera que nos lagos próximos ao Equador, onde a temperatura pode atingir até 38 °C (ESTEVES, 1998).

Compostos como o dióxido de carbono, nitrogênio, metano e oxigênio são exemplos de gases que podem ser encontrados em meio aquoso. O oxigênio, por sua vez, tem um papel essencial na manutenção da vida.

A solubilidade de gases no meio aquoso depende de algumas variáveis físico-químicas como a temperatura, a pressão e a força de atração entre moléculas. A lei que rege esta característica é conhecida como lei de Henry, ela associa a pressão exercida em um gás à massa de gás diluído em cada litro de fluido.

### 4.3.2 Oxigênio

Segundo Peixoto (1998), “oxigênio é o elemento químico mais abundante na superfície da terra. Constitui cerca de 23% da atmosfera, 46% da litosfera e mais de 85% da hidrosfera.”

O elemento oxigênio tem duas formas alotrópicas distintas, o gás oxigênio e o gás ozônio. Ambos os gases são importantes para a vida como um todo, o gás oxigênio como anteriormente mencionado é utilizado nos processos de respiração animal já que permite a retirada de energia por meio aeróbico, o ozônio, por sua vez, é um gás muito reativo com densidade baixa que se acumula nas áreas mais distantes da atmosfera, ele faz a filtragem dos raios ultravioletas provenientes do sol preservando a vida desta radiação nociva.

O gás oxigênio, composto pela associação de dois átomos de oxigênio, é a forma alotrópica necessária para a vida. Suas características físico-químicas estão dispostas na tabela 4.

Tabela 4: Propriedades físicas do oxigênio

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| Número Atômico (O)         | Z= 8             |
| Massa Molar (O)            | 15,9994 g/mol    |
| Ponto de Fusão ( $O_2$ )   | -218,8 °C        |
| Ponto de Ebulição( $O_2$ ) | -183,0 ( 1 atm ) |

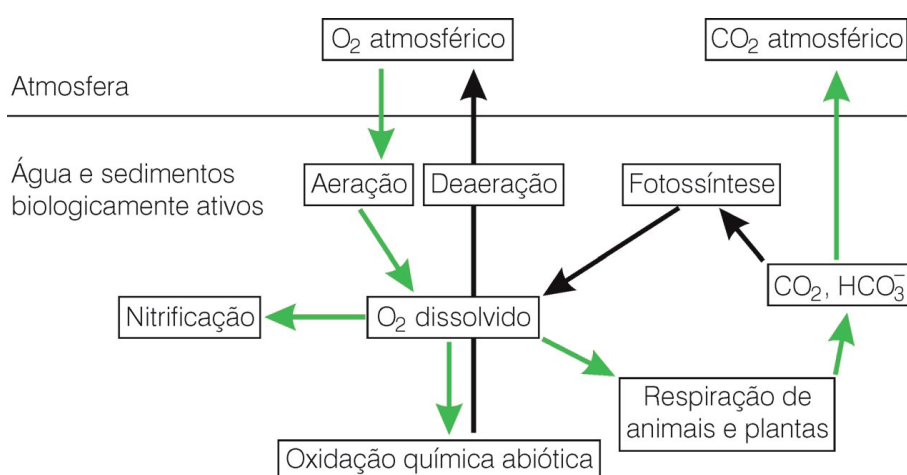
Fonte:Colombo (2010)

### 4.3.3 Oxigênio dissolvido (OD)

A solubilidade do oxigênio em água varia de acordo com a temperatura e pressão. A temperatura afeta inversamente neste aspecto, ou seja, quanto maior é o seu valor menor é a sua solubilidade, por outro lado a pressão afeta diretamente, quanto maior a pressão sobre a camada de gás em contato com a água, maior é o nível de solubilidade.

As variações de pressão são mínimas quando não houver um desnível de altitude acentuado, ou seja, o fator preponderante na dissolução do oxigênio na água é a temperatura.

As principais fontes de OD na água são a aeração mecânica, por intermédio de quedas d'água, interferência eólica, ação antrópica e outros, ou pelo processo fotossintético das algas e fitoplactons. A redução dos índices de oxigênio diluído, por sua vez, é causada por vários fatores, entre eles, o consumo biológico, o aumento da temperatura e a presença de íons que reagem com o oxigênio.



**Figura 19: Ciclo do oxigênio no meio aquático**

Fonte:FIORUCCI e FILHO (2005)

A solubilidade máxima possível, a uma atmosfera, na água doce em relação à temperatura

esta exposta na tabela 5.

Tabela 5: Variação da saturação com a temperatura a uma atmosfera

| Temperatura (°C ) | Oxigênio na água (mg/l) |
|-------------------|-------------------------|
| 0                 | 14,62                   |
| 3                 | 13,48                   |
| 6                 | 12,48                   |
| 9                 | 11,59                   |
| 12                | 10,83                   |
| 15                | 10,15                   |
| 18                | 9,54                    |
| 21                | 8,99                    |
| 24                | 8,53                    |
| 27                | 8,07                    |
| 30                | 7,63                    |

Fonte: BULL (2005)

#### 4.3.4 Lei de Henry

A lei de Henry descreve a solubilidade de um gás em água. Ela relaciona a fração molar de um gás diluído a uma pressão específica.

$$p_i = K_i \cdot x_i \quad (4.13)$$

Onde  $p_i$  é a pressão utilizada,  $x_i$  é a fração molar e  $K_i$  é uma constante de proporcionalidade que leva em conta que o gás utilizado e a temperatura de trabalho.

Tabela 6: Diferentes constantes para alguns compostos a 25°C

| Composto           | $k_i$         |
|--------------------|---------------|
| Argônio            | $4,0310^9$    |
| Dióxido de Carbono | $1,6710^{10}$ |
| Hidrogênio         | $7,0310^9$    |
| Nitroênio          | $8,5710^9$    |
| Oxigênio           | $4,3410^9$    |

Fonte:

#### **4.3.5 Estratificação**

A estratificação é um fenômeno térmico que ocorre em lagos e tanques que cria duas áreas distintas quanto à oxigenação. Como a água morna “flutua” sobre a água fria, em locais onde a temperatura superficial fica elevada por longos períodos de tempo, pode-se criar um volume de água quente arejado e um volume de água fria carente de oxigênio.

Isso se deve ao fato de que fluxo de massa entre as camadas de água cessar. Este fenômeno provoca mortalidade de peixes, pois intensifica o consumo em um volume com pouca capacidade de dissolução de oxigênio, uma vez que os mesmos tendem a se manter na superfície.

## 5 MODELAGENS

### 5.1 Concepção Física

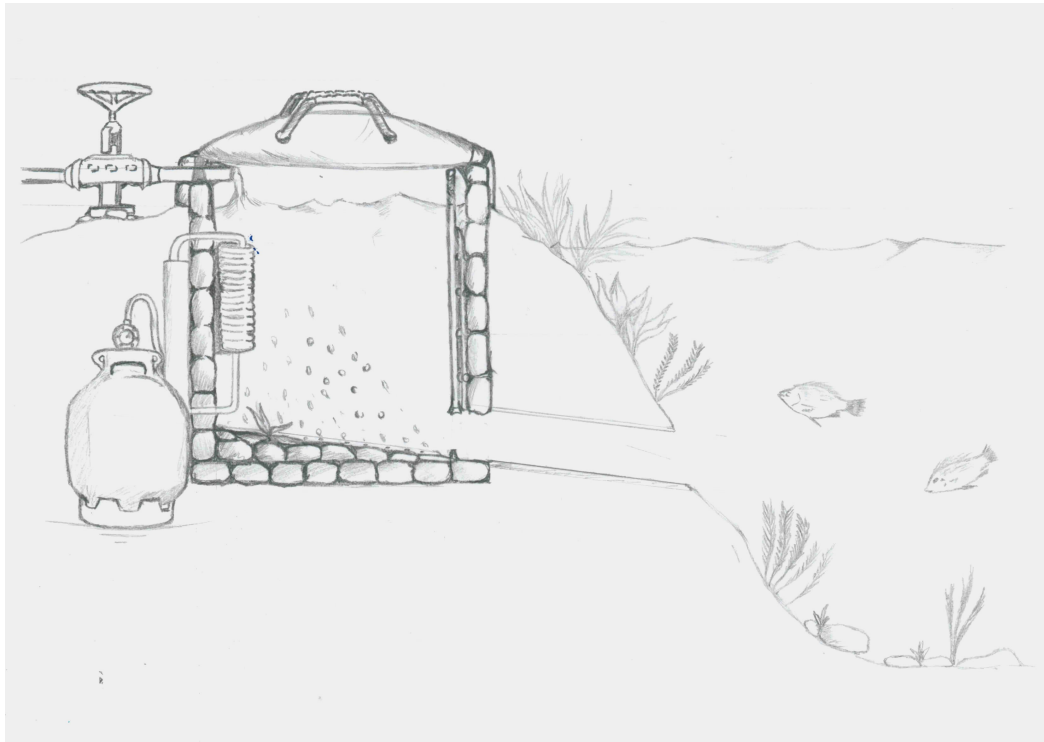
Vencida a etapa de fundamentação teórica dos processos físicos envolvidos na dinâmica do refúgio, a modelagem matemática segue como etapa suplementar e sequencial do projeto, de forma a permitir (a) apresentação de resultados, bem como (b) simulações computacionais e (c) estabelecer ordens de magnitude das grandezas envolvidas. As formulações dos itens (b) e (c) são discriminadas no capítulo 6, Resultados e Continuidade, enquanto este capítulo 5 prende-se ao enfoque de teoria de controle, com a obtenção das respectivas funções de transferência.

Antes de se iniciar propriamente as modelagens matemáticas dos processos de vazão e térmico envolvidas no projeto, resumidamente, explica-se a dinâmica global de funcionamento do dispositivo como um todo.

Como já mencionado, o refúgio térmico trata-se de uma zona controlada de conforto fisiológico que possui um volume restrito, sendo que os peixes migram voluntariamente para a mesma quando atraídos majoritariamente por um fluxo de água quente (isca térmica), configurando uma região de adensamento populacional. Os principais aspectos técnicos deste aparato são os que tangem às formulações hidráulicas e térmicas.

#### 5.1.1 Etapas de Funcionamento

O funcionamento do refúgio segue um encadeamento sistêmico de 3 etapas definidas para ganhos relativos de (a) tempo para aquecimento da massa fluída confinada, e (b) menor magnitude da carga térmica. Essas etapas, em suma, que serão parametrizadas no discurso deste capítulo, são:



**Figura 20: Refúgio Térmico**  
**Fonte: Autoria Própria**

#### **5.1.1.1 Etapa 1: Aquecimento d'água sem fluxo de massa.**

Inicialmente pelo princípio dos vasos comunicantes os níveis altimétricos das colunas de água do refúgio e do tanque de criação são iguais. A situação de funcionamento do dispositivo começa com fechamento do canal de acesso (tubo de saída de água). Assim, ao estancar o fluxo de massa fluída o aquecimento é feito para uma quantidade de massa estanque, que é um regime de trabalho mais profícuo para o aquecimento.

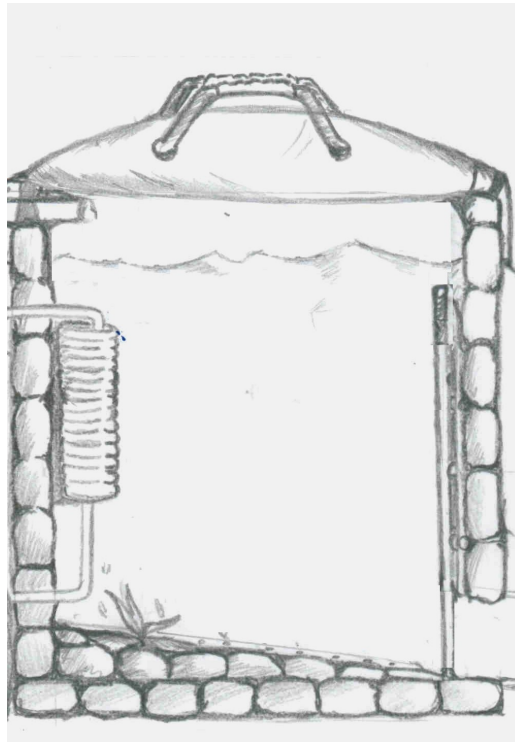
Para dar-se apenas uma percepção mais precisa do funcionamento do dispositivo, adianta-se a ordem de alguns parâmetros climáticos do próximo capítulo que irá dimensionar o refúgio, protagonizar um dia de criticidade climática e apresentar ordens de grandeza por simulações computacionais.

Horário inicial: 18h.

Temperatura ambiente: 5°C

Temperatura da água captada do curso depara ingresso no refúgio: 7°C.

A água confinada está inicialmente em 10°C e será aquecida até um nível de temperatura até 16°C, que é o início justamente a etapa 2.



**Figura 21: Etapa 01**  
**Fonte: Autoria Própria**

#### **5.1.1.2 Etapa 2: Funcionamento do sistema de vazão.**

Atingida a temperatura definida para a água estanque o processo propriamente dito de "iscação térmica" é iniciado com a abertura da canal de escape da água para o meio de cultivo. Esse fluxo de água irá configurar-se como uma perda de energia térmica considerável e a temperatura irá cair exponencialmente até estabilizar-se em 14°. Por essa queda ser de configuração exponencial que é feito de antemão o aquecimento até um patamar um pouco maior da água do refúgio comparativamente à temperatura ambiente e mesmo da água de captação.

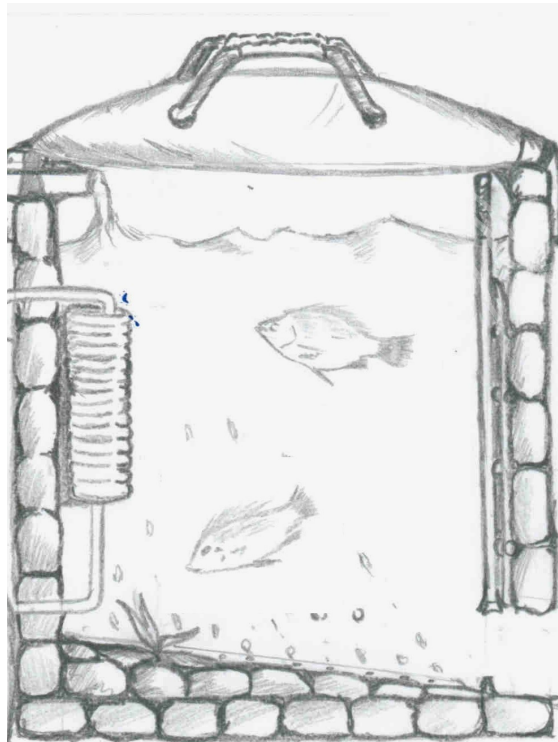
Esse tempo relativo até a estabilização térmica será o atrativo inicial para a migração dos peixes. É preciso de, digamos, uma "isca" mais energética e atrativa no início, pois sabe-se, até mesmo das constatações empíricas dos ensaios, que os peixes mantêm um comportamento em cardume, principalmente quando o seu meio está com baixas temperaturas. Assim, força-se a percepção inicial do peixe no que tange à temperatura. Atraindo alguns peixes comportamentalmente líderes os outros têm a tendência de segui-lo e todos abrigarem-se no refúgio.



### 5.1.1.3 Etapa 3: Situação de Regime.

Uma vez que se atingiu o equilíbrio térmico, ou seja a manutenção de um índice de temperatura, e também funciona em regime de vazão, ou seja a manutenção da altura da coluna de água do refúgio, ligeiramente maior que a do tanque de criação, o dispositivo irá funcionar nessa forma de trabalho até a melhora do tempo.

As simulações computacionais irão permitir a verificação dos tempos necessários para a estabilização em regime estacionário para os processos de vazão e térmicos. Opcionalmente, haveria opções simples que poderiam otimizar o gasto energético deste dispositivo. Poderia-se quando atingida a aglomeração, baixar a guilhotina para a perda térmica por fluxo de massa fluído fosse reduzida a zero.



**Figura 22: Etapa 03**  
**Fonte: A autoria Própria**

## 5.1.2 Características Morfológicas

O refúgio precisa congrega as seguintes características:

- (a) Morfologia hidráulica

- A água desembocante é justamente o principal fator que atrai o peixe. Além do mais, essa renovação de massa fluída é importante do ponto de vista de qualidade da água.
- Leve inclinação de seu piso de forma a facilitar a retirada dos excrementos (toxidade por amônia) em conjunto com a corrente de água (auto-lavagem). Essa inclinação descendente corrobora ainda para a retenção de calor, já que a água aquecida, com menor densidade, teria a tendência de confluir para camadas superiores.
- Sistema de controle de vazão na válvula de entrada, tendo como outra varável da malha de controle a variação da altura da coluna de água dentro do refúgio. Dessa forma busca-se estabelecer uma racionalidade energética, ou seja, parametrizar a perda térmica por transporte de massa de água aquecida.

#### (b) Morfologia térmica

- Isolamento térmico de suas paredes laterais, bem como seu piso e cobertura, de forma a minimizar as trocas de calor com o meio.
- Sistema de aquecimento para possibilitar a manutenção de um patamar de temperatura adequado.

#### (c) Outras características morfológicas

- Sistema de aeração artificial dimensionado de acordo com consumo em gramas de oxigênio por gramas de peixe, e de acordo com a capacidade de dissolução de oxigênio na água.

Para a efetivação de cada uma dessas características faz-se necessário um estudo por partes. Por exemplo, para a aeração artificial, verificar as formas possíveis e usuais no ramo de piscicultura, ou mesmo importar e adaptar soluções aplicadas em outros sistemas. Para a obtenção de um melhor nível de isolamento térmico, um estudo de materiais, levando-se em conta o peso inclusive da viabilidade econômica e praticidade, tanto construtiva quanto de mobilidade.

Ainda, a fonte energética que alimentará o sistema térmico pode aproveitar dos insumos de fácil acesso nas regiões onde os tanques de piscicultura se inserem, como madeira ou gás metano proveniente da fermentação de excrementos de animais. Além do mais, como sugestão, um modelo de trocador de calor foi proposto, este se encontra no anexo B deste trabalho.

Do decorrido nos dois parágrafos precedentes, do ponto de vista de acabamento do produto há uma gama de detalhamentos que certamente carecem de maturação. Entretanto, ponderando este trabalho com um olhar acadêmico, do ponto de vista de formulação e resolução da situação problema, busca-se a viabilidade teórica por uso da técnica adquirida quando da formação em engenharia.

Nesse sentido, nesta etapa de graduação, são apresentadas as formulações matemáticas dos modelos térmicos e de vazão necessários para a concepção do modelo de refúgio apresentado. E, sequencialmente, já a nível de pós-graduação, sugestões para explorações posteriores com outros enfoques, tais como, o de desenvolvimento de produto e estudo mercadológico, do dispositivo ora inventado sob o viés tecnicista e acadêmico.

## 5.2 Caracterização matemática

A caracterização matemática é uma crítica e também essencial etapa na modelagem de um sistema de controle. A habilidade para se estabelecer hipóteses simplificadoras corretas e a manipulação algébrica das variáveis envolvidas permitem o desenvolvimento de um modelo simples e efetivo que englobe as características físicas de interesse, evitando assim um grau de complexidade desnecessário para o escopo do projeto.

O estudo criterioso das leis físicas do sistema a se controlar se faz necessário ainda mais quando o aprendizado dessas leis não faz parte da base de formação do engenheiro eletricista, como no caso da mecânica dos fluídos.

A representação matemática dos sistemas de vazão e térmico levam em conta a seguinte sequência:

- Definição do sistema e suas partes componentes.
- Definição das hipóteses simplificadoras e formulação matemática das leis físicas envolvidas.
- Equação diferencial que descreve o modelo.
- Identificação das variáveis de entrada e de saída.
- Inspeção das soluções obtidas.

Relativamente à notação desses sistemas será padronizado o seguinte:

- subscrito 1 para indicar que a variável está relacionada à entrada.
- subscrito 2 para indicar que a variável está relacionada à saída.

As funções de transferência obtidas serão relações entre as variações dos parâmetros de entrada e de saída. Em ambos os processos valer-se-á do uso de variáveis incrementais para a caracterização matemática. Ou seja, as variáveis equacionadas serão substituídas por um valor médio ou de equilíbrio somadas à um desvio.

- Modelo de Hidráulico

Desnível de água:  $H = H_{eq} + \Delta H$

Fluxo de entrada:  $\Psi_1 = \Psi_{eq} + \Delta \Psi_1$

- Modelo Térmico

Temperatura dentro do refúgio:  $T(t) = T(t)_{eq} + \Delta T(t)$

Taxa de troca de calor:  $q(t) = q(t)_{eq} + \Delta q(t)$

Temperatura da terra:  $T_G = T_{G_{eq}} + \Delta T_G$

## 5.3 Modelagem hidráulica

A existência de um sistema de vazão tem três objetivos principais:

(a) eliminar os excrementos dos peixes, através de fluxo de massa de saída. Conforme Yancey e Menezes (1989), as fezes destes animais possuem amônia concentrada e há consumo de oxigênio quando estão sendo decompostas.

(b) aumentar o oxigênio dissolvido por queda de água. Um criadouro alimentado por queda d'água tem um aumento de oxigênio dissolvido conforme tabela 7.

(c) atrair o peixe para o refúgio térmico usando a isca térmica, ou seja, através de um fluxo d'água quente através da válvula de saída, representada pelo canal de acesso.

### 5.3.1 Modelo para o controle de vazão

A água que alimenta o reservatório (refúgio térmico) é controlada por uma válvula de entrada e esta é despejada através do tubo de saída para o meio de cultivo. As variáveis utilizadas para a modelagem do processo são:

Tabela 7: Aumento de oxigênio dissolvido em consequência de brusca queda d'água

| Altura                         | 0,5 | 1   | 1,5 | 2   | 3   | MAX |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Acréscimo de O.D a 25°C (ml/l) | 1,8 | 2   | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 3,9 |
| Acréscimo de O.D a 30°C        | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2   | 3,3 |

**Fonte: YANCEY e MENEZES (1989)**

1. Velocidade do líquido  $V$  (m/s);
2. Desnível das colunas de água do refúgio e do viveiro  $H$  (m);
3. Pressão  $p$  (N/m<sup>2</sup>).

### 5.3.2 Hipóteses simplificadoras

As equações gerais de movimento e energia que descrevem o escoamento de fluídos são relativamente complicadas. Para o projeto de sistemas de controle, em geral, são usadas hipóteses simplificadoras que reduzem a complexidade do modelo matemático. Tais hipóteses são apresentadas abaixo.

#### 5.3.2.1 Compressibilidade

Será assumido que a água dentro do tanque é um fluído incompressível. Um fluído incompressível tem a densidade constante,  $\rho$ ,  $\frac{kg}{m^3}$ . O fator de compressibilidade,  $k$ , é a medida da compressibilidade do fluído. Um pequeno valor de  $k$  indica uma menor compressibilidade.

O ar, que é um fluído compressível, tem o fator de compressibilidade igual a  $k_{ar} = 0,98 \frac{m^2}{N}$ , enquanto a água tem  $k_{H_2O} = 4,9 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{N} = 50 \cdot 10^{-6} atm^{-1}$ . Em outras palavras, dado um volume de água este diminui em uma relação de 50 milionésimos de um volume inicial a cada atmosfera (atm) de aumento da pressão. A hipótese simplificadora da água ser um fluído incompressível é totalmente válida para as modelagens deste trabalho.

#### 5.3.2.2 Viscosidade

Dado um fluído em movimento, supõe-se inicialmente que as velocidades de fluxo são diferentes para as camadas adjacentes do mesmo. Depois de uma troca molecular entre duas camadas há uma tendência em se igualar as velocidades nestas. O atrito interno no movimento dentro do fluído e a troca de *momentum* são conhecidos como viscosidade.

O coeficiente de viscosidade do ar (em condições normais, 20°C) é  $\mu_{ar} = 0,178 \cdot 10^{-4} \frac{Ns}{m^2}$  e para as mesmas condições, o coeficiente de viscosidade da água é  $\mu_{H_2O} = 1,054 \cdot 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}$ . Então, pela comparação destes coeficientes, a água é cerca de 60 vezes mais viscosa que o ar. A viscosidade depende principalmente da temperatura e não da pressão.

Com fluídos de baixa viscosidade, tais como o ar e a água, os efeitos do atrito são importantes apenas na camada limite, uma fina camada adjacente à parede do reservatório e à tubulação de saída. A hipótese simplificadora de se negligenciar a viscosidade da água é totalmente válida para as modelagens deste trabalho.

### 5.3.2.3 Vazão (fluxo) irrotacional

Se durante o movimento do fluído não houver rotação ou distorção das partículas, o fluxo é dito irrotacional. Imaginando-se uma roda de pás imersa no fluído, estando disposta na direção da porta de saída, se esta roda transladar, sem, no entanto rotacionar, este fluído é dito irrotacional. A hipótese simplificadora de se considerar a água no refúgio como irrotacional é totalmente válida para as modelagens deste trabalho.

### 5.3.2.4 Fluxo constante

O fluxo é constante se a velocidade em cada ponto é constante no tempo. Este fato não necessariamente implica que a velocidade tenha que ser a mesma em todos os pontos, mas que, dado um ponto, a velocidade neste ponto não mude no tempo. O estado estacionário pode ser observado em fluídos com baixa velocidade. Se a área da porta de saída da água for muito grande, então o fluxo através do reservatório não deve ser baixo suficiente para estabelecer a condição de estado estacionário, e nosso modelo não terá a precisão prevista. A hipótese simplificadora de se considerar o fluxo constante será utilizada nessa aplicação, assumindo-se que o volume do refúgio seja bastante grande, com respeito às vazões de entrada e saída.

## 5.3.3 Equações diferenciais do movimento de massas

A massa de água confinada no refúgio em um determinado momento pode ser dada por:

$$m = \rho A_b H_r \quad (5.1)$$

Em que:

- $A_b$  é a área da base do tanque.
- $\rho$  é a densidade da água.
- $H_r$  é a altura do nível de água no refúgio.

Contudo, conforme a figura 20 e de acordo com a lei de pascal, será a diferença entre os níveis altimétricos das colunas de água do refúgio e do tanque de criação que criará a pressão manométrica responsável por expurgar a água pela válvula de saída.

Dessa forma, considerar-se-á nas modelagens apenas o desnível relativo, dado por  $H = H_r - H_t$ , em que  $H_t$  representa a altura do nível de água no tanque de criação.

Derivando em relação ao tempo a equação (5.1), com a consideração relativa da altura, ou seja, substituindo-se  $H_r$  por  $H$ , tem-se:

$$\frac{dm}{dt} = \rho A_b \frac{dH}{dt} \quad (5.2)$$

Na derivada acima vale-se das simplificações:

- o fluido é incompressível, isto é, sua densidade não se altera no tempo,  $\frac{d\rho}{dt} = 0$ .
- a área da base do refúgio  $A_b$ , na consideração de que o mesmo seja um sólido regular, é uma constante.
- a seção transversal da válvula de saída  $A_2$  também é uma constante.

A variação de massa fluída dentro do refúgio é igual à água que entra (vazão de entrada) menos a água que saí, ou seja:

$$\frac{dm}{dt} = \rho A_b \frac{dH}{dt} = \Psi_1 - \Psi_2 = \Psi_1 - \rho A_2 V_2 \quad (5.3)$$

A velocidade do fluxo de saída,  $V_2$ , é uma função do desnível altimétrico das colunas de água,  $H$ .

Ao empregar-se a equação (4.1) de Bernoulli

$$P_1 + \frac{V_1^2 \rho}{2} + gz_1 \rho = P_2 + \frac{V_2^2 \rho}{2} + gz_2 \rho$$

e usar como alturas piezométricas  $z_1 = H_r$  e  $z_2 = H_t$ , tem-se:

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gH = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} \quad (5.4)$$

Em que  $V_1$  é a velocidade da água na válvula de entrada do refúgio. Além do mais, no modelo relativo  $P_1$  e  $P_2$  são iguais e  $A_2$  é suficientemente pequeno.

Uma estimativa à grosso modo, discutida com mais detalhes no capítulo 6 de resultados, supõe um fluxo de entrada de água da ordem de grandeza de um chuveiro aberto parcialmente, algo como 8 litros por minuto. A secção transversal da válvula de entrada é relativamente maior que a de saída, assim pode-se considerar a velocidade da vazão de entrada  $V_1$  pequena a ponto de ser negligenciada na modelagem.

Sendo assim, a equação de Bernoulli pode ser re-escrita simplesmente como:

$$V_2 = \sqrt{2gH} \quad (5.5)$$

Substituindo (5.5) em (5.3) e isolando o termo diferencial tem-se:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho A_b} \Psi_1 - \left[ \frac{A_2}{A_b} \sqrt{2g} \right] \sqrt{H} \quad (5.6)$$

O fluxo de massa na saída é, com uso de (5.5) :

$$\Psi_2 = \rho A_2 V_2 = \rho (\sqrt{2g} A_2) \sqrt{H} \quad (5.7)$$

Para facilitar a manipulação algébrica das equações (5.6) e (5.7) far-se-ão substituições em termos das constantes envolvidas, a saber:

$$k_1 = \frac{-A_2 \sqrt{2g}}{A_b} \quad (5.8)$$

$$k_2 = \frac{1}{\rho A_b} \quad (5.9)$$

$$k_3 = \rho \sqrt{2g} A_2 \quad (5.10)$$

As referidas equações, em termos dessas constantes, ficam:



$$\frac{dH}{dt} = k_1\sqrt{H} + k_2\Psi_1 \quad (5.11)$$

$$\Psi_2 = k_3\sqrt{H} \quad (5.12)$$

As equações (5.11) e (5.12) caracterizam matematicamente as vazões de entrada,  $\Psi_1$ , e de saída,  $\Psi_2$ , em termos das constantes físicas do modelo. Elas são equações diferenciais ordinárias, não lineares, de primeira-ordem (a não linearidade advém da raiz quadrada).

O modelo simplificado desenvolvido até aqui tem a forma:

$$\frac{dH}{dt} = f(H, \Psi_1) \quad (5.13)$$

$$\Psi_2 = h(H) \quad (5.14)$$

A próxima etapa deste capítulo refere-se à linearização da equação (5.11) para a posterior resolução por métodos analíticos.

### 5.3.4 Linearização das equações

Para resolução por métodos analíticos da equação diferencial representada por (5.11) necessita-se destituí-la da não linearidade, nesse caso dada pela raiz quadrada.

O nível de água e o fluxo de entrada de massa de água podem ser escritos em termos de variáveis incrementais, respectivamente, como:

$$H = H_{eq} + \Delta H \quad (5.15)$$

$$\Psi_1 = \Psi_{1eq} + \Delta\Psi_1 \quad (5.16)$$

Onde  $\Delta H$  e  $\Delta\Psi_1$  representam desvios pequenos em relação ao estado de equilíbrio  $H_{eq}$  e  $\Psi_{1eq}$ .

Quando o sistema composto pelo tanque está em equilíbrio, a variação do nível de água é nulo, isto é,  $\frac{dH}{dt} = 0$ . Essa situação ocorre quando o fluxo da massa de água que entra e sai são

iguais. Nesse regime a variável de saída de índice 2 é trabalhada com índice eq, de equilíbrio.

Diretamente da equação (5.7) para vazão de saída em regime de equilíbrio tem-se:

$$\Psi_{2eq} = \rho \sqrt{2gA_2} \sqrt{H_{eq}} = \frac{-k_1}{k_2} \sqrt{H_{eq}} = k_3 \sqrt{H_{eq}} \quad (5.17)$$

#### 5.3.4.1 Expansão em série de Taylor

Expandindo a equação (5.11) de acordo com a série de Taylor até os termos de derivada primeira e para o ponto de aplicação como sendo o ponto de equilíbrio, tem-se:

$$\frac{dH}{dt} = f(H, \Psi_1) = f(H_{eq}, \Psi_{1eq}) + \left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{\substack{H=H_{eq} \\ \Psi_1=\Psi_{1eq}}} (H - H_{eq}) + \left. \frac{\partial f}{\partial \Psi} \right|_{\substack{H=H_{eq} \\ \Psi_1=\Psi_{1eq}}} (\Psi_1 - \Psi_{eq}) \quad (5.18)$$

Dos termos derivadas parciais acima, resolvendo-os separadamente, tem-se:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{\substack{H_1=H_{eq} \\ \Psi=\Psi_{eq}}} = \frac{\partial (k_1 \sqrt{H} + k_2 \Psi_1)}{\partial H} \bigg|_{\substack{H_1=H_{eq} \\ \Psi=\Psi_{eq}}} = \frac{1}{2} \frac{k_1}{\sqrt{H_{eq}}} \quad (5.19)$$

$$\left. \frac{\partial f}{\partial \Psi} \right|_{\substack{H_1=H_{eq} \\ \Psi=\Psi_{eq}}} = \frac{\partial (k_1 \sqrt{H} + k_2 \Psi_1)}{\partial \Psi_1} \bigg|_{\substack{H_1=H_{eq} \\ \Psi=\Psi_{eq}}} = k_2 \quad (5.20)$$

Usando a equação (5.17), tem-se:

$$\sqrt{H_{eq}} = \frac{\Psi_{eq}}{\rho \sqrt{2gA_2}} \quad (5.21)$$

Assim:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{\substack{H_1=H_{eq} \\ \Psi=\Psi_{eq}}} = \frac{-A_2^2 g \rho}{A_1 \Psi_1} \quad (5.22)$$

Derivando-se a equação

$$\frac{dH}{dt} = \Delta \frac{dH}{dt} \quad (5.23)$$

Desde que  $H_{eq}$  seja constante.

Por definição da condição de equilíbrio, o termo  $f(H_{eq}, \Psi_{eq})$  é nulo. Desconsiderando-se os termos de ordens mais elevadas da expansão da série de Taylor, tem-se:

$$\Delta \frac{dH}{dt} = -\left[\frac{-A_2^2 g \rho}{A_1 \Psi_1}\right] \Delta H + \frac{1}{\rho A_1} \Delta \Psi_1 \quad (5.24)$$

A equação (5.24) representa um modelo linear que descreve a variação no nível de água,  $\Delta H$ , para uma taxa nominal de fluxo de entrada,  $\Delta \Psi_1$ .

Similarmente, para a variável de saída do nosso modelo, a vazão  $\Psi_2$ , tem-se:

$$\Psi_2 = \Psi_{eq2} + \Delta \Psi_{eq2} = h(H, \Psi_1) \approx h(H_{eq}, \Psi_{eq}) + \left. \frac{\partial h}{\partial \Psi_1} \right|_{H=H_{eq}, \Psi=\Psi_{eq}} \Delta \Psi_1 \quad (5.25)$$

Em que,  $\Delta \Psi_1$  é uma pequena variação na taxa do fluxo de saída mássica.

$$\left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{\substack{H_1 = H_{eq} \\ \Psi = \Psi_{eq}}} = \frac{g \rho^2 A_2^2}{\Psi_{eq}} \quad (5.26)$$

e

$$\left. \frac{\partial f}{\partial H} \right|_{\substack{H_1 = H_{eq} \\ \Psi = \Psi_{eq}}} \Delta \Psi_1 = 0 \quad (5.27)$$

O modelo linearizado para variável de saída,  $\Psi_2$ , é:

$$\Delta \Psi_2 = \left[ \frac{g \rho^2 A_2^2}{\Psi_{eq}} \right] \Delta A_2 \quad (5.28)$$

### 5.3.5 Funções de transferência para o modelo de vazão

Derivando-se em relação ao tempo a equação (5.28), e substituindo-se o resultado na equação (5.24), temos um equacionamento que envolve simultaneamente as variáveis de entrada e saída do sistema, ou seja,  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$ .

$$\Delta \frac{d\Psi_2}{dt} = \left[ \frac{g \rho A_2^2}{\Psi_{eq} A_1} \right] \Delta A_2 = \left[ \frac{g \rho A_2^2}{\Psi_{eq} A_1} \right] \Delta A_1 \quad (5.29)$$

Denominando-se, em função das constantes envolvidas

$$N = \left[ \frac{g\rho^2 A_2^2}{\Psi_{eq} A_1} \right] \quad (5.30)$$

Tem-se, de forma simplificada:

$$\Delta \frac{d\Psi_2}{dt} + N\Delta\Psi_2 = N\Delta\Psi_1 \quad (5.31)$$

Estabelecendo-se como nulas as condições iniciais, aplicando a transformada de Laplace à equação:

$$s\Delta\Psi_2 + N\Delta\Psi_2 = N\Delta\Psi_1 \quad (5.32)$$

$$\frac{\Delta\Psi_2}{\Delta\Psi_1} = \frac{N}{s + N} \quad (5.33)$$

A função de transferência definida em (5.33) estabelece uma relação entre a variação da vazão de saída em relação à variação da vazão de entrada.

Pode-se também obter a função de transferência que relaciona a vazão de saída com a variação do nível relativo de água no refúgio,  $H(s)$ .

Estabelecendo-se como nulas as condições iniciais, aplicando a transformada de Laplace à equação (5.26):

$$\mathcal{L}\left\{\frac{\Delta H}{t}\right\} = \mathcal{L}\{-N\Delta H\} + \mathcal{L}\{k_2\Delta\Psi_1\} \quad (5.34)$$

$$s\Delta H = -N\Delta H + k_2\Delta\Psi_1 \quad (5.35)$$

$$\frac{\Delta H(s)}{\Delta\Psi_1(s)} = \frac{N}{s + N} \quad (5.36)$$

### 5.3.5.1 Soluções das equações do modelo de vazão estabelecido

Conforme comentado ao término da seção 5.1.4 serão apresentadas as soluções analítica e computacional para o modelo de vazão estabelecido. Para o desenvolvimento de uma solução analítica, será considerado o modelo linearizado.

Em geral, não se consegue obter uma solução analítica de equações não lineares. Contudo, através de métodos numéricos, tais soluções podem ser obtidas, tanto para modelos linearizados quanto para não linearizados. Desta forma, será possível comparar ambas as soluções. Tal

comparação possibilitará verificar a validade das simplificações que foram empregadas para a linearização das equações.

### 5.3.5.2 Solução analítica

Dado o modelo linear invariante no tempo,  $\Delta \frac{\Psi_2}{dt} + N\Psi_2 = \Delta\Psi_1$ , será obtida as soluções para uma entrada em degrau unitário e senoidal.

Conforme estabelecido nos parágrafos precedentes, a variável de entrada,  $\Delta\Psi_1$ , representa a variação da vazão de entrada em relação ao valor da vazão do estado de equilíbrio  $\Delta\Psi_{eq}$ .

### 5.3.5.3 Variável de saída em relação à vazão

Dado que  $\Delta\Psi_1 = \frac{q_0}{s}$

Onde  $q_0$  é a magnitude da entrada em degrau, e assumindo-se que as condições iniciais são nulas,  $\Delta\Psi_1(0) = 0$ . Pode-se usar a equação (5.31).

$$\frac{\Delta H(s)}{\Delta\Psi_1(s)} = \frac{N}{s+N} \quad (5.37)$$

$$\Delta H(s) = \frac{q_0}{s} \frac{k_2}{s+N} \quad (5.38)$$

Decompondo-se em frações parciais, temos:

$$\Delta H(s) = \frac{q_0 k_2}{N} \left( -\frac{1}{s+N} + \frac{1}{s} \right) \quad (5.39)$$

Aplicando-se a Transformada Inversa de Laplace:

$$\mathcal{L}^{-1}\{\Delta H(s)\} = \mathcal{L}^{-1}\left\{ \frac{q_0 k_2}{N} \left( -\frac{1}{s+N} + \frac{1}{s} \right) \right\} \quad (5.40)$$

$$\Delta H(t) = \frac{q_0 k_2}{N} (1 - e^{-Nt}) \quad (5.41)$$

Para um tempo tendendo ao infinito, e dado que a constante  $N$  é positiva, o termo  $e^{-Nt}$  se aproxima de zero.

Assim, no regime de estado estacionário, para uma entrada em degrau unitário de magnitude  $q_0$ , a variável de saída no domínio do tempo é:

$$\Delta H_{ss} = \frac{q_0 k_2}{N} \quad (5.42)$$

## 5.4 Modelagem térmica

Dada a configuração física do refúgio térmico como ilustrado na figura 20, será apresentada neste etapa a modelagem térmica do sistema com a consideração das transferências de calor por condução e convecção, bem como com as perdas de calor por fluxo de massa. A modelagem dos fluxos de massa que entram e saem no refúgio foram apresentadas no capítulo anterior.

A necessidade da modelagem térmica do conjunto, visando a manutenção de um padrão de temperatura, busca atender a necessidade fisiológica íctea da Tilápia do Nilo de manutenção um nível limitado inferiormente em 12°C, de forma a permitir uma sobrevivência no cenário adverso de clima da localidade .

Da equação (4.2) faz-se um balanço de energia, que para o problema do refúgio pode assumir a forma:

$$C_t \frac{dT(t)}{dt} = Q(T) - q_p \quad (5.43)$$

As variáveis e termos representados são:

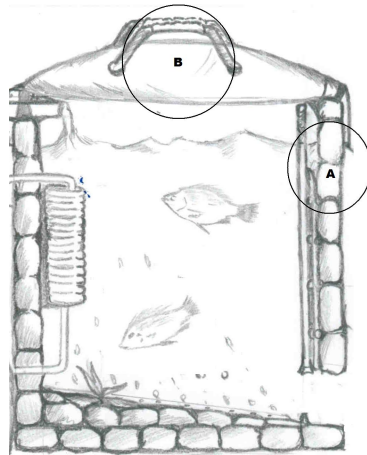
- $\frac{dT(t)}{dt}$  - Função que descreve a variação temperatura em relação ao tempo no refúgio (°C).
- $Q(T)$  - Taxa de transferência calor inserido no ambiente através da fonte quente, parâmetro que será controlado de acordo com a temperatura do refúgio (W).
- $C_t$  - Capacidade térmica do refúgio (kJ/°C).
- $Q_{per}$  - Taxa de transferência calor para o ambiente pelas transferências de o calor e fluxos de massa.

### 5.4.1 Modelagem das perdas térmicas

A modelagem das perdas passa por duas etapas distintas, uma primeira etapa em que é feito o cálculo pelo modelo das resistências térmicas para a convecção e condução e uma segunda etapa refere-se às perdas pelo fluxo de massa.

#### 5.4.1.1 Perda de calor por condução e convecção

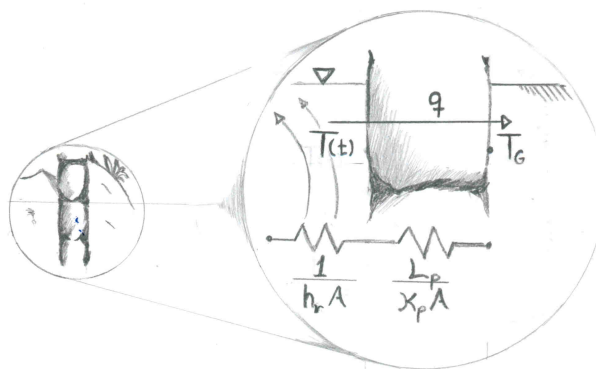
Na consideração de que a geometria do refúgio é cúbica e que o mesmo está enterrado e anexo ao tanque através de tubulações para acesso do peixe, será feito o equacionamento do problema. Duas regiões de fuga de energia térmica estão representadas na figura 23.



**Figura 23: Regiões de fuga de energia térmica**  
**Fonte: Autoria própria**

Para descrever as perdas devido à fuga de calor pelas paredes do refúgio que estão em contato com a terra será realizado o cálculo através das resistências térmicas. Desta forma encontrar-se-á as resistências de condução e convecção que descrevem o processo.

Dessa forma, para as paredes em contato com a terra:



**Figura 24: Fluxo de calor pela parede em contato com a terra ( Detalhe A )**  
**Fonte: Autoria própria**

Considerando que o refúgio seja um prisma regular cúbico, como são quatro faces laterais

e o piso do refúgio que estão em contato com o solo, temos:

$$q_p = \frac{\Delta T}{R_k + R_c} = \frac{T(t) - T_G}{R_k + R_c} \quad (5.44)$$

sendo

$$R_k = \frac{L_p}{K_p A} \quad (5.45)$$

$$R_c = \frac{1}{h_r A} \quad (5.46)$$

Temos

$$q_p = \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} \quad (5.47)$$

As variáveis e termos representados são:

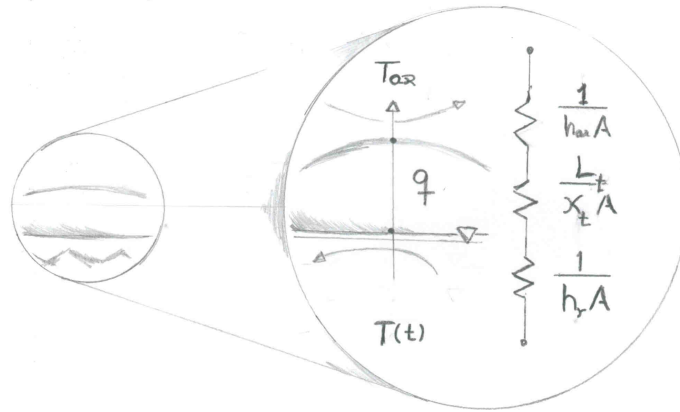
- $q_p$  Calor que é perdido pela parede do refúgio.
- $\Delta T$  Variação da temperatura entre o refugio e a terra.
- $T(t)$  Função que descreve a variação da temperatura dentro do refugio
- $T_G$  Temperatura da terra.
- $R_k$  Resistência de condução da parede.
- $R_c$  Resistência de convecção.
- $L_p$  Comprimento da parede.
- $K_p$  Coeficiente de condução térmica
- $h_r$  Coeficiente convectivo dentro do refúgio

Considerando que o refúgio seja um prisma regular cúbico, como são quatro faces laterais e o piso do refúgio que estão em contato com o solo, temos:

$$q_{p5} = 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} \quad (5.48)$$



O teto do refúgio conterà uma resistência térmica a mais devido ao seu contato com o ar. É feita a consideração, entretanto, que as paredes laterais, o teto e o piso serão construídos com os mesmo materiais. O modelo de resistência térmicas no contorno do face superior fica representado assim:



**Figura 25: Fluxo de calor pelo teto ( Detalhe B )**

**Fonte: Autoria própria**

$$q_t = \frac{\Delta T}{R_k + R_{ci} + R_{co}} = \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} \quad (5.49)$$

Os novos termos apresentados são:

- $q_t$  Fuga de calor pelo teto do refúgio.
- $R_{ci}$  Resistência térmica de convecção interna.
- $R_{co}$  Resistência térmica de convecção externa.
- $T_{ar}$  Temperatura do ar.
- $L_p$  Comprimento da parede.
- $K_t$  Coeficiente de condução térmica.
- $h_{ar}$  Coeficiente convectivo referente à área externa do teto.

#### 5.4.1.2 Perdas de calor devido ao transporte de massa.

Existe no modelo uma entrada de água, proveniente de uma fonte externa que objetiva criar um pequeno desvio altimétrico dos níveis de água do refúgio relativo ao tanque de criação, e assim forçar uma vazão de saída para composição da isca térmica, e assim potencializar a (a) renovação de água no refúgio, (b) auto-lavagem pela eliminação dos excrementos e, o que é demasiadamente importante, (c) oxigenação forçada por gravidade.

Estima-se que esta água que é inserida no tanque possa ser pré-aquecida, aproveitando, por exemplo, a radiação solar do dia, sendo as paredes de sua caixa de contenção revestidas de material que absorva calor, fato este que diminuiria a carga térmica. Contudo, este modelo não é usado aqui. O modelo presente considera que a vazão de entrada é captada de uma simples fonte à temperatura ambiente.

A perda de calor de calor mais considerável é no canal de acesso, o qual também é o duto para a saída da água. Conjectura-se que tal canal deva possuir inclinação descendente para (a) facilitar a eliminação dos excrementos e (b) diminuir a troca de calor para o lago.

Os equacionamentos das perdas de calor pelo fluxo de massa de entrada e pelo fluxo de massa de saída são dados abaixo.

Vazão de entrada:

$$q_{in} = \Psi_1 \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_0) \quad (5.50)$$

$$q_{in} = \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} \quad (5.51)$$

Vazão de saída:

$$q_{out} = \Psi_2 \cdot C_p \cdot (T_G - T_0) \quad (5.52)$$

$$q_{out} = \Psi_2 \cdot C_p \cdot T_G \quad (5.53)$$

Em que:

- $q_{in}$  Taxa de transferência de calor perdido com a entrada da água fria (W).
- $q_{out}$  Taxa de transferência de calor de calor perdido com a saída da água quente para o tanque (W).

- $\Psi_1$  vazão de água fria da fonte d'água (kg/s).
- $\Psi_2$  vazão de água quente para o tanque (kg/s).
- $C_p$  Calor específico da água (kJ/kg.°C )
- $T_{in}$  Temperatura da água da fonte d'água
- $T_0$  Temperatura de referência, adotada aqui como 0 °C

#### 5.4.1.3 Perdas totais

Definem-se as perdas como a soma das fugas de calor devido aos fatores apresentados nos itens anteriores, portanto temos a seguinte expressão descritiva das perdas totais:

$$q_p = q_{p5} + q_t + q_{in} + q_{out} \quad (5.54)$$

$$q_p = 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} + \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} + \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} + \Psi_2 \cdot C_p \cdot T(t) \quad (5.55)$$

#### 5.4.2 Equação geral

Da equação (5.50) e (5.63) em tem-se a relação que descreve a dinâmica térmica do refúgio.

$$C_t \frac{dT(t)}{dt} = q(t) - 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} - \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} - \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} - \Psi_2 \cdot C_p \cdot T(t) \quad (5.56)$$

#### 5.4.3 Funcionamento do modelo

##### 5.4.3.1 Situação de regime

Nesta situação a fonte quente deve manter a temperatura em um valor estabelecido ao compensar as perdas pelas vazões de entrada e saída, além das transferências de calor por condução e convecção. Portanto, quando se analisa a equação (52), o termo da variação da temperatura é nulo.

$$0 = q(t) - 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} - \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} - \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} - \Psi_2 \cdot C_p \cdot T(t) \quad (5.57)$$

$$q(t) = 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} + \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} + \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} + \Psi_2 \cdot C_p \cdot T(t) \quad (5.58)$$

#### 5.4.3.2 Situação de aquecimento

Para o aquecimento da água as vazões serão cessadas, pois aquecer um volume de água em constante renovação demanda muito mais energia que um volume estático. As únicas perdas serão através das superfícies.

$$C_t \frac{dT(t)}{dt} = -5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} - \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}} \quad (5.59)$$

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{1}{C_t} [q(t) - 5 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} - \frac{T(t) - T_{ar}}{\frac{L_p}{K_t A} + \frac{1}{h_r A} + \frac{1}{h_{ar} A}}] \quad (5.60)$$

#### 5.4.4 Função de transferência para o modelo térmico.

Utilizando a equação geral do refugio térmico pode-se levantar a função de transferência que permite o desenvolvimento da malha de controle. As variáveis de entrada e saída são respectivamente a temperatura do refúgio e o calor inserto no sistema.

Algumas simplificações são propostas. A resistência referente ao teto do refúgio será igualada às resistências das paredes. A temperatura de entrada da água e a temperatura inicial do refúgio será igual a temperatura ambiente.

$$C_t \frac{dT(t)}{dt} = q(t) - 6 \frac{T(t) - T_G}{\frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A}} - \Psi_1 \cdot C_p \cdot T_{in} - \Psi_2 \cdot C_p \cdot T(t) \quad (5.61)$$

Para simplificar a notação:

$$R_{eq} = \frac{L_p}{K_p A} + \frac{1}{h_r A} \quad (5.62)$$

Definem-se as seguintes variáveis incrementais.

$$T(t) = T(t)_{eq} + \Delta T(t) \quad (5.63)$$

$$q(t) = q(t)_{eq} + \Delta q(t) \quad (5.64)$$

$$T_G = T_{G_{eq}} + \Delta T_G \quad (5.65)$$

onde:

- $T(t)_{eq}, q(t)_{eq}$  e  $T_{t_{eq}}$  caracterizam as condições de equilíbrio.
- $\Delta T(t), \Delta q(t)$  e  $\Delta T_G$  representam desvios pequenos em relação ao estado de equilíbrio.

Substituindo as variáveis incrementais na equação geral do refúgio térmico e considerado que a temperatura de entrada de água é igual a temperatura da terra, ou seja:  $T_{in} = T_G$ .

$$C_t \Delta \frac{dT(t)}{dt} = q_{eq} + \Delta q - \frac{6}{R_{eq}} (T(t)_{eq} + \Delta T(t) - T_{G_{eq}} - \Delta T_{G_{eq}}) - \Psi_1 C_p (T_{t_{eq}} + \Delta T_{t_{eq}}) - \Psi_2 C_p (T(t)_{eq} + \Delta T(t)_{eq}) \quad (5.66)$$

Transformando por Laplace, e supondo que no instante inicial os incrementos são nulos.

$$C_t s \Delta T(s) = q_{eq}(s) + \Delta q(s) - \frac{6}{R_{eq}} (T(s)_{eq} + \Delta T(s) - T_G(s)_{eq} - \Delta T_G(s)_{eq}) - \Psi_1 C_p (T_G(s)_{eq} + \Delta T_G(s)_{eq}) - \Psi_2 C_p (T(s)_{eq} + \Delta T(s)_{eq}) \quad (5.67)$$

O  $q_{eq}(s)$  representa a taxa de troca de calor em regime, ou seja, igual as perdas. Dessa forma a equação fica simplificada como:

$$C_t s \Delta T(s) = \Delta q(s) - \frac{6}{R_{eq}} (\Delta T(s) - \Delta T_G(s)_{eq}) - \Psi_1 C_p \Delta T_G(s)_{eq} - \Psi_2 C_p \Delta T(s)_{eq} \quad (5.68)$$

É razoável supor que  $\Delta T_G(s)_{eq} = 0$ , ou seja, a variação incremental da temperatura da terra é nula.

$$C_t s \Delta T(s) = \Delta q(s) - \frac{6}{R_{eq}} \Delta T(s) - \Psi_2 C_p \Delta T(s)_{eq} \quad (5.69)$$

Desta forma temos:

$$C_t s = \frac{\Delta q(s)}{\Delta T(s)} - \frac{6}{R_{eq}} - \Psi_2 C_p \quad (5.70)$$

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta q(s)} = \frac{R_{eq}}{sC_t R_{eq} + 6 + \Psi_2 C_p} \quad (5.71)$$

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta q(s)} = \frac{\frac{1}{C_t}}{s + \frac{6 + \Psi_2 C_p R_{eq}}{C_t R_{eq}}} \quad (5.72)$$

## 5.5 Consumo mássico de oxigênio

Segundo Lund e Figueira, (1989), a tilápia é um peixe robusto quanto à necessidade de oxigênio, demandam uma concentração mínima de 1,2mg/l.

Santos (2009) menciona que a temperatura de 27°C um peixe de vinte e duas gramas confinado em um volume de nove litros de água, reduz o nível de oxigenação em 0,15mg<sub>o2</sub>/l a cada hora. Desta forma, pode-se estimar que o consumo por hora de miligramas de oxigênio por quantidade mássica de tilápia é:

$$0,15 \cdot \frac{mg_{o_2}}{lt} \cdot \frac{9l}{22g_{peixe}} = 0,06136 \frac{mg_{o_2}}{t \cdot g_{peixe}} \quad (5.73)$$

Onde os termos descritos são:

- $mg_{o_2}$  miligramas de oxigênio.
- $g_{peixe}$  gramas de peixe.
- $t$  tempo em horas.

Vale salientar que tais valores são relativos à temperatura de 27 °C e que, a uma temperatura maior, o nível de consumo de oxigênio dos peixes aumenta. O patamar de 27°C é, todavia, considerado um valor de referência para as estimativas deste trabalho, uma vez que o condicionamento ótimo da temperatura para um pleno desenvolvimento da tilápia, conforme já referenciado anteriormente, situa-se na faixa de 18 °C à 28 °C .

## 6 DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÕES

### 6.1 Dimensionamento do volume do refúgio

Para dimensionar o refúgio térmico será simulado um cultivo de juvenis, conhecidos como aleviões de tilápia, em um viveiro tipicamente paranaense. Poderia-se caracterizar o cenário para o uso do peixe em uma fase de terminação, ou seja, engorda final para o abate. Contudo, optou-se por manter um paralelismo com os ensaios deste trabalho.

A hipótese de migração voluntária empiricamente comprovada foi feita com o uso de alevinos (item 3.4). Avalia-se, no entanto, que o refúgio poderia ser empregado para a tilápia em qualquer fase de desenvolvimento. Porém, parâmetros como o gradiente de temperatura necessário para que a mesma perceba e migre precisariam ser verificados em ensaios de dimensões maiores feitos *in loco*.

A escolha de juvenis de tilápia é feita na consideração que eles são muito sensíveis à temperatura e normalmente já estariam desenvolvidos em tamanho e peso no inverno, ou seja, o refúgio poderia significar um incremento no leque de possibilidades de criação. Considerar-se-á que possuem peso médio de 30g dentro do refúgio e tamanho médio de 10cm. A estrutura lógica abaixo foi definida para o dimensionamento do refúgio.

#### 6.1.1 Estrutura lógica para o dimensionamento do refúgio

Neste trabalho será definida a seguinte sequencia lógica para o dimensionamento do refúgio baseada no cenário hipotético para a produção de alevinos II de tilápia para uma biomassa máxima. As etapas definidas são:

1. Caracterizar as dimensões de um viveiro típico Paranaense.
2. Explicitar o sistema de cultivo quanto à intensidade do manejo.

3. Referenciar tabelas de recomendação de biomassa máxima para produção de alevinos II.
4. Determinar a taxa de povoamento do viveiro para alevinos II de tilápia.
5. Estimar a biomassa total.
6. Levantar o nível de estocagem máxima para a tilápia.
7. Estimar o número de animais no tanque de cultivo.
8. Estimar a capacidade do refúgio térmico em litros.
9. Avaliar o consumo mássico de oxigênio.
10. Avaliar a taxa de renovação de água.
11. Definir o formato e mensurar os seus elementos geométricos.
12. Estimar ordens de grandeza dos sistemas de vazão e térmico com base nas etapas anteriores.

#### **6.1.1.1 Dimensões de um viveiro típico paranaense**

Segundo o Manual Básico de Piscicultura (2004), os viveiros do estado do Paraná, em geral, variam de 400 à 1000  $m^2$ , sendo a profundidade recomendada no estado de 1,0 à 1,5 m.

#### **6.1.1.2 Sistema de cultivo**

Para a definição do cenário hipotético deste capítulo, simular-se-á um sistema que utilize apenas fertilização orgânica, sem qualquer tipo de ração granulada ou aeração e troca de água.

#### **6.1.1.3 Taxa de Povoamento**

De acordo com a tabela 8 a escolha do sistema de cultivo, o valor tabelado da biomassa máxima é 2800 kg por hectare.

#### **6.1.1.4 Biomassa total**

Será escolhido um valor intermediário do referenciado na sub-seção *Sistema de Cultivo* de 400  $m^2$  de área para o viveiro hipotético desse cenário. Como 1 hectare corresponde a uma área 10.000  $m^2$ , o viveiro hipotético tem uma de 0,05  $ha$ .



Tabela 8: Taxa de povoamento pela qualidade de cultivo

| Sistema de cultivo                                              | Biomassa máxima (kg/ha) | Biomassa econômica (kg/ha) |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Fertilizante orgânico                                           | 2800                    | 2300                       |
| Fertilizante orgânico e ração suplementar                       | 4200                    | 3400                       |
| Fertilizante orgânico e ração suplementar e aeração             | 4900                    | 3900                       |
| Ração granulada                                                 | 4900                    | 3900                       |
| Ração granulada e aeração                                       | 7000                    | 5600                       |
| Ração granulada, aeração e troca de menos de 5 % de água ao dia | 7000                    | 5600                       |
| Ração granulada, aeração e troca de 6 % a 10 % de água ao dia   | 8400                    | 6700                       |
| Ração granulada, aeração e troca de 11 % a 20 % de água ao dia  | 9800                    | 7800                       |

Fonte: Muehlmann et al. (2004)

Juntamente com a taxa de povoamento tem-se que a biomassa total do viveiro é de  $0,04 \times 2800 = 112\text{kg}$ .

#### 6.1.1.5 Número de peixes

A biomassa é um dado importante para descobrir a quantidade de peixes que existe dentro de um tanque e para posteriormente encontrar um refúgio que tenha as propriedades físicas necessárias para abrigar com qualidade estes animais. Dependendo da finalidade do tanque em questão, seja para alevinagem ou para corte, estimamos o número máximo de animais ( $N$ ) no viveiro pelo massa média prevista ( $p$ ).

Como no cenário escolhido estamos trabalhando com alevinagem, levantamos o número de peixes da seguinte forma:

$$N = \frac{112000}{30} = 3734 \quad (6.1)$$

Retira-se a massa prevista média pela tabela 9.

Tabela 9: Peso para alevinos

| Espécie         | Peso inicial | Peso Final |
|-----------------|--------------|------------|
| Tilápia do nilo | 1            | 30         |

**Fonte: Muehlmann et al. (2004)**

#### 6.1.1.6 Nível estocagem máxima

É necessário avaliar o efeito biológico da aglomeração nos animais. Uma alta densidade causa prejuízos aos peixes, portanto é preciso saber quanto é este valor. De acordo com Maeda (2006) a densidade de estocagem ( $D$ ) para o alevino de tilápia é de 1000 Peixes/m<sup>3</sup>.

#### 6.1.1.7 Capacidade do refúgio

Conhecido o número máximo de peixes permitido dentro do viveiro é necessário dimensionar o refúgio com dimensões suficientes para abrigar os peixes e evitar desperdícios de energia. Com o número de animais e a capacidade máxima de aglomeração ( $D$ ) estima-se o volume do refúgio ( $V_r$ ).

$$V_r = \frac{N}{D} = \frac{3733}{1000} = 3,733 \simeq 4m^3 \quad (6.2)$$

#### 6.1.1.8 Consumo mássico de oxigênio

Além da aglomeração um fator limitante é a oxigenação do meio. A proposta para a solução deste problema é trabalhar com o ambiente do refúgio sempre no nível de saturação da água. O valor de consumo dos peixes e a capacidade do aerador são os principais parâmetros que fazem variar a concentração de  $O_2$  dentro do refúgio.

Portanto temos o seguinte:

$$\Delta O_2 = B - C > 0 \quad (6.3)$$

Onde:

- $C$  - Valor referente ao consumo de  $mg/O_2$  dos peixes. [ $mg/s$ ]
- $B$  - Capacidade do aerador dissolver  $O_2$  na água. [ $mg/s$ ]

- $\Delta O_2$  - Valor da variação de gás  $O_2$  na água.  $[mg/s]$

Desta forma tem-se sempre um ambiente tendendo a saturação, provendo os peixes de  $O_2$  constantemente.

Pode-se utilizar, por exemplo, um aerador Aquamix B-301, mostrado na figura 26, cuja as especificações técnicas estão dispostas na referência *referencia*, sabe-se que este sistema de aeração artificial injeta uma quantidade de  $125mg_{O_2}/s$ , associado ao consumo mássico de  $O_2$  pelos peixes, que está estipulado no item 6.1.1.5 cuja a ordem de valor está em  $1,9089mg_{O_2}/s$  temos um valor diferencial de aproximadamente  $123mg_{O_2}/s$  para a injeção de oxigênio no meio.



**Figura 26: Aerador Aquamix B-301**  
**Fonte: Aquicultura (2011)**

#### 6.1.1.9 Geometria do Refúgio

Como fator de simplificação para as modelagens estipulou-se que a geometria do refúgio seria cúbica. Portanto para uma geometria cúbica temos para cada aresta:

$$a = \sqrt[3]{V_r} = \sqrt[3]{4} = 1,587 \simeq 1,6m \quad (6.4)$$

#### 6.1.1.10 Renovação de água

A questão da toxidade da amônia é de demasiada importância quando se pensa em uma região de adensamento íctio. O refúgio precisa auto-lavar-se, sendo isto conseguido através de suas características morfológicas, como a inclinação descendente do seu piso e a direção do jato de renovação de água em seu interior. A proposta é que toda a água interna ao refúgio seja trocada em 24 horas ajustado pelo controle do sistema de vazão. Portanto, na situação de regime as vazões de entrada e de saída são:

$$\Psi_1 = \Psi_2 = \frac{4000}{24.3600} = 0.0462 [l/s]$$

#### 6.1.1.11 Grandezas dos sistemas de vazão e térmico

Com os valores levantados pode-se estimar a ordem de grandeza das constantes apresentadas no capítulo 5 para os sistemas hidráulico e térmico. O volume definido permite calcular o valor para a capacitância térmica e a renovação permite encontrar os parâmetros de vazão. Quanto a parte construtiva o refúgio será concebido para ser um equipamento de fácil instalação, portanto escolhe-se, em primeira instância, a fibra de vidro, cuja constante de condução é 0.048. Este material é leve e ao mesmo tempo capaz de manter a temperatura dentro do volume. A espessura da parede foi estabelecida em 3 cm.

Para uma parametrização dos canais de água de entrada e saída, usa-se de estimativas consonantes com a modelagem hidráulica desenvolvida. Ou seja, a área do canal de entrada de água  $A_1$  relativamente maior que  $A_2$ . Apenas recordando que índice o 1 refere-se à válvula de entrada e o índice 2 de saída da água, que é também o canal de acesso dos peixes.

Portanto, as seguintes grandezas serão utilizadas para as etapas posteriores:

- Capacitância térmica -  $C_t = 1,6m^3 \cdot 1000 \cdot 4190 = 6704000 J/K$
- Vazão de entrada e saída -  $\Psi_1 = \Psi_2 = \frac{4000}{6.3600} = 0.0462 l/s$
- Resistência de condução -  $R_k = \frac{L}{K_p \cdot A} = \frac{0.03}{0.048 \cdot 1,6^2} = 0.24414 s.K/J$
- Bitola do canal de saída de água (canal de acesso dos peixes): 100 mm.
- Bitola do canal de entrada de água: suficiente maior que a bitola do canal de saída.<sup>1</sup>

## 6.2 Simulação de vazão

Do modelo linearizado, obteve-se uma solução analítica. Para a simulação usar-se-á, entretanto, o modelo não linearizado, visto que a solução por métodos computacionais disponíveis permitem a utilização dessas equações em sua forma não linear.

As constantes físicas para simulação do cenário são dadas pela tabela abaixo.

<sup>1</sup>O valor assumido foi propositadamente grande para possibilitar simplificações analíticas no modelo. Tais simplificações estão descritas no capítulo 4.

Tabela 10: Constantes da simulação de vazão

| $\rho(\frac{kg}{m^3})$ | $g(\frac{m}{s^2})$ | $A_1(m^2)$ | $A_2(m^2)$ | $A_b(m^2)$ | $\Psi_{eq}$ |
|------------------------|--------------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1000                   | 9,8                | $0,36.\pi$ | $0,01.\pi$ | 2,56       | 0,0462      |

Das equações (5.11) e (5.12):

$$\frac{dH}{dt} = G_1\sqrt{H} + G_2\Psi_1 \quad (6.5)$$

$$\Psi_2 = G_3\sqrt{H}$$

Em que:

$$G_1 = \frac{-A_2\sqrt{2g}}{A_b}$$

$$G_2 = \frac{1}{\rho A_b}$$

$$G_3 = \rho\sqrt{2g}A_2$$

Para os valores tabelados acima as equações assumem a forma, tem-se:

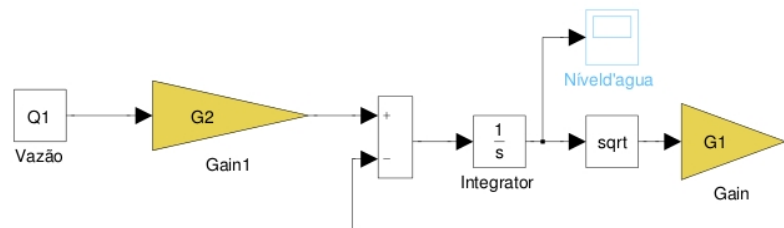
$$\dot{H} = -0.054329\sqrt{H} + 0,00039\Psi_1 \quad (6.6)$$

$$\Psi_2 = 0.0462\sqrt{H} \quad (6.7)$$

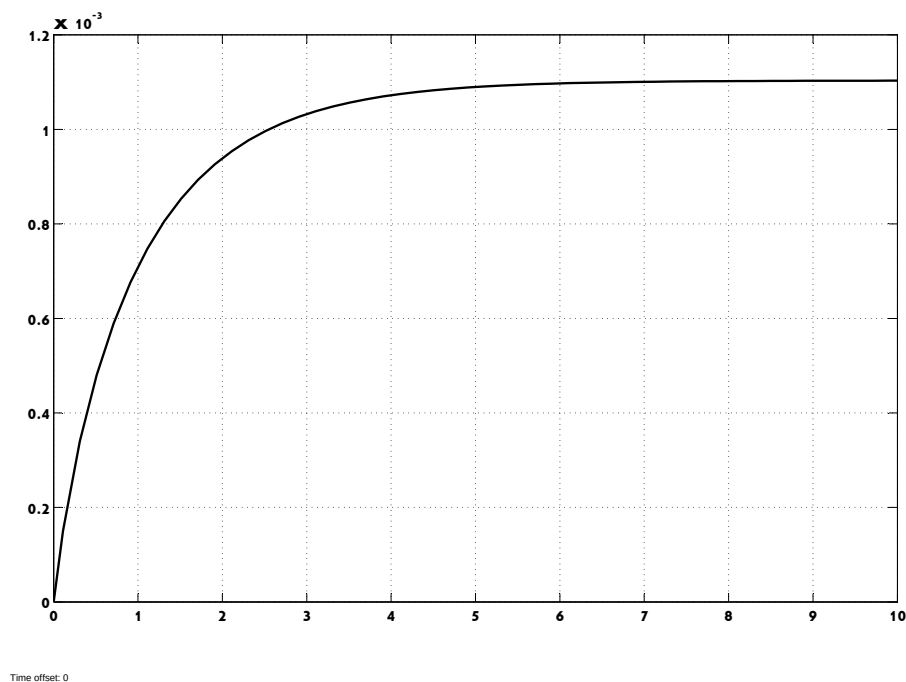
Assumindo-se que nas condições iniciais são  $H(0) = 0$  m e  $\Psi_1 = \Psi_{eq} = 0,0462$  kg/s, ao se integrar numericamente o modelo não linear apresentado acima, chega-se as equações em função do tempo,  $H(t)$  e  $\Psi(t)$ .

As equações acima dos valores tabelados, através do diagrama de blocos do Simulink, são apresentadas na figura 27:

A resposta da variável nível d'água, H, fica então, através do modelo numérico estabelecido:



**Figura 27: Diagrama em Simulink<sup>TM</sup> para a equação da vazão**  
**Fonte: Autoria própria**

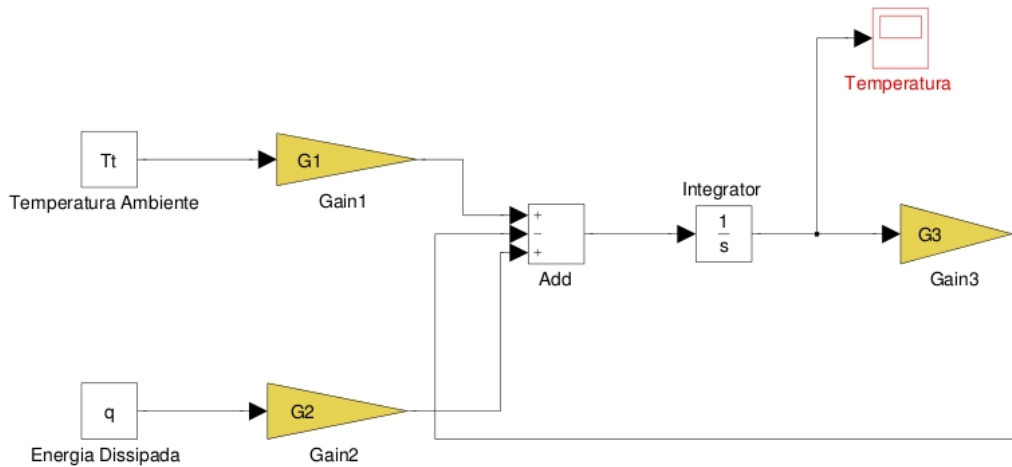


**Figura 28: Resposta do nível da água em relação ao tempo**  
**Fonte: Autoria própria**

### 6.3 Simulação térmica

Levantada as equações que descrevem a dinâmica térmica do refúgio segue-se para a etapa de simulação computacional. Utiliza-se também ferramenta Simulink do ambiente MATLAB<sup>TM</sup> para criar um diagrama de blocos lógicos que descrevem a equação diferencial do sistema térmico. Este diagrama pode ser visualizado na figura 29.

O termo referente a resistência térmica de convecção interna da equação 5.75 foi suprimido mediante a suposição que o calor dentro do tanque é dissipado uniformemente em todo o vo-



**Figura 29: Modelo em Simulink<sup>TM</sup> para a equação da temperatura**  
**Fonte: Autoria própria**

lume. Pode-se usar misturadores ou um borbulhador para a movimentação da água e uniformizar a sua temperatura. Ainda, o borbulhador pode ser usado para facilitar a saída de excrementos quando estiver alocado em um ângulo de ataque conveniente. Outra simplificação utilizada foi a suposição de que a transferência de calor do teto é mesma que a das paredes.

$$\frac{1}{h_r A} \approx 0 \quad (6.8)$$

E adotando a igualdade:

$$\frac{L_p}{K_p A} = R_t \quad (6.9)$$

Para que a equação diferencial 5.75 fique mais coerente para a simulação isola-se  $T(t)$ ,  $t_t$  e  $q(t)$ .

$$\frac{dT(t)}{dt} = -T(t) \left( \frac{6 + \Psi_2 \cdot C_p \cdot R_t}{R_t \cdot C_t} \right) + \frac{q(t)}{C_t} + T_t \left( \frac{6 - \Psi_1 \cdot C_p \cdot R_t}{R_t \cdot C_t} \right) \quad (6.10)$$

Para simplificação algébricas estes termos foram agregadas em novas constantes como indicado abaixo

$$G_1 = -\frac{6 - \Psi_1 \cdot C_p \cdot R_t}{R_t \cdot C_t} \quad (6.11)$$

$$G_2 = \frac{1}{C_t} \quad (6.12)$$

$$G_3 = \frac{6 + \Psi_2 \cdot C_p \cdot R_t}{R_t \cdot C_t} \quad (6.13)$$

Pode-se agora reescrever a equação 5.83 da seguinte forma:

$$T(t) = T(t) \cdot G_3 + q(t) \cdot G_2 + T_i \cdot G_1 \quad (6.14)$$

Para desenvolver a simulação é preciso atribuir valores numéricos para as constantes presentes na equação 5.87. Os valores utilizados na equação descrevem um ambiente propício para a utilização do equipamento, ou seja, quando a temperatura do ambiente aquático encontra-se em um nível que coloca em risco a vida dos animais do tanque.

Os valores encontram-se na tabela 11.

Tabela 11: Valores das constantes da simulação

| $C_p \left( \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right)$ | $V(m^3)$ | $q(W)$ | $T_i(^{\circ}C)$ | $k_p \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$ | $L_p(m)$ | $A(m^2)$ | $T_0(^{\circ}C)$ | $\Psi_2 \left( \frac{kg}{s} \right)$ | $\Psi_1 \left( \frac{kg}{s} \right)$ |
|--------------------------------------------------|----------|--------|------------------|-------------------------------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 4190                                             | 4        | 6.600  | 5                | 0,048                                           | 0,03     | 2,56     | 10               | 0,0462                               | 0,0462                               |

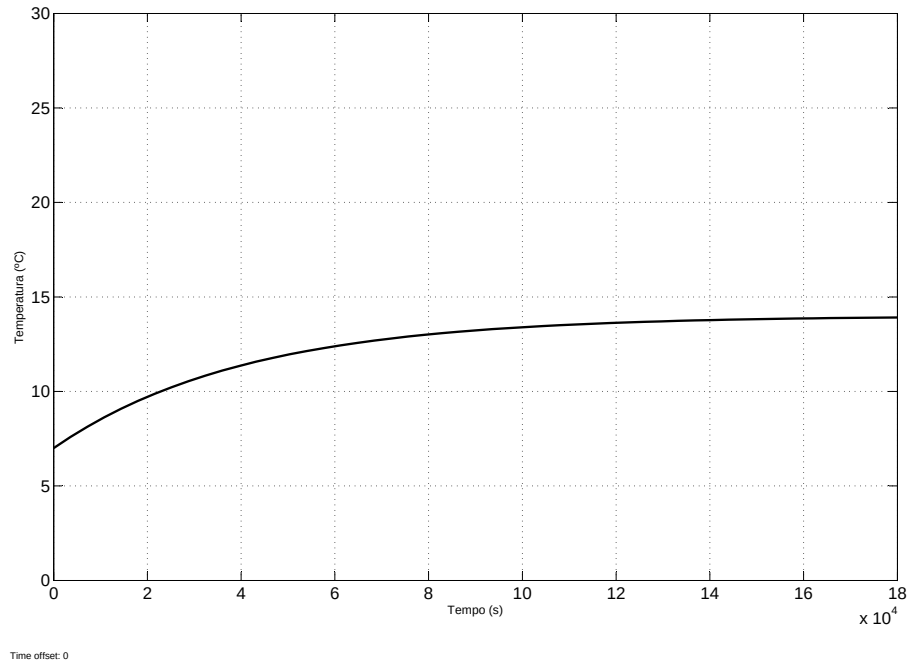
**Fonte: Autoria própria**

Estes valores foram parametrizados para simulação do cenário hipotético de um dia frio. Destaca-se que o valor da potência calorífica demandada pelo protótipo é compatível com chuveiro elétrico residencial de alta potência.

### 6.3.1 Comportamento geral

A curva do comportamento geral da equação diferencial está apresentada na figura 30, a qual mostra que demoram 180.000 segundos, ou seja 50 horas, para atingir-se o estado de equilíbrio com o meio externo. A forma da curva apresentada é compatível com um sistema de primeira ordem. Esta curva foi levantada sem o processo de aquecimento da água em confinamento, ou seja, com as vazões em funcionamento contínuo. Isto mostra a importância de ser feito o aquecimento prévio para atingir-se a temperatura desejada e então, na sequência, iniciar o sistema de vazão, isto é, abrir-se a guilhotina do canal de acesso para expurgamento da água, bem como permitir um fluxo de água no canal de entrada.





**Figura 30: Comportamento geral da equação diferencial térmica**  
**Fonte: Autoria própria**

### 6.3.2 Situação de aquecimento

Na situação de aquecimento os termos referente as vazões foram retirados. Isto deve-se ao fato de que o aquecimento é mais eficaz por demandar menos tempo para atingir a temperatura desejada, aqui estipulada como 14 °C.

Portanto as constantes recebem os seguintes valores numéricos:

$$G_1 = -\frac{6}{R_t \cdot C_t} = -3,6658 \cdot 10^{-6} \quad (6.15)$$

$$G_2 = \frac{1}{C_t} = 1,4916 \cdot 10^{-7} \quad (6.16)$$

$$G_3 = \frac{6}{R_t \cdot C_t} = 3,6658 \cdot 10^{-6} \quad (6.17)$$

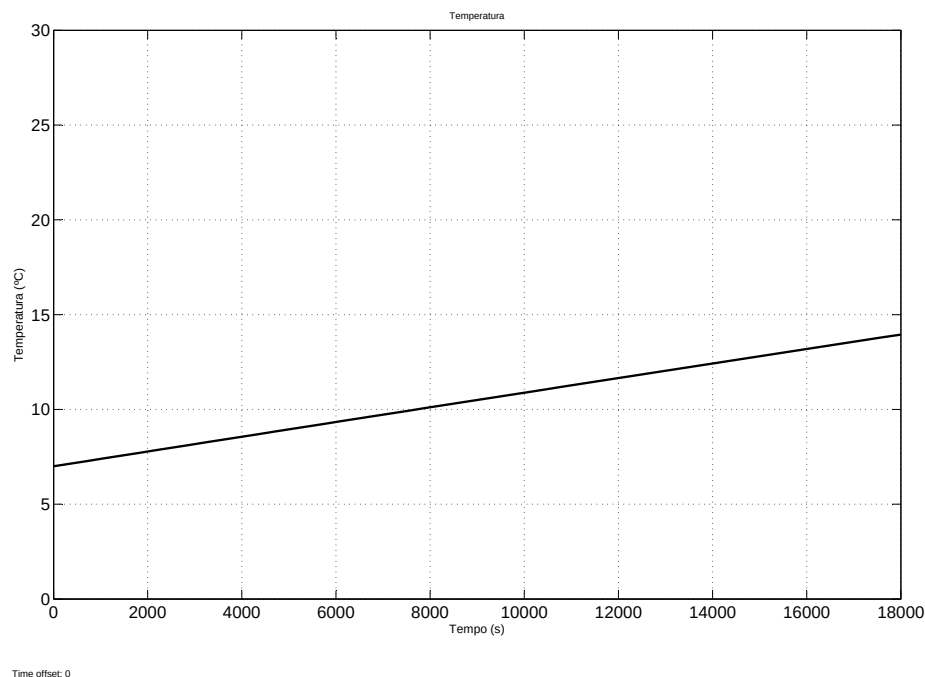
Lembrando:

$$C_t = m.c_p = 1600.4190 = 6704000 \quad (6.18)$$

Para atingir-se a temperatura desejada de 14°C tem-se um valor de 18.000 segundos, ou seja em torno de 5 horas. Este valor de tempo é plenamente aceitável em termos práticos, visto a gama de informações meteorológicas disponíveis.

Ainda, do ponto de vista da própria percepção do piscicultor, este pode antever-se e acionar o aquecimento da água quando do início da queda de temperatura ambiente, ou mesmo, este sistema pode funcionar de forma inteligente iniciando sua operação de forma automática antes que se atinjam valores críticos para o peixe.

O aquecimento até esta temperatura é apresentado na figura 31:



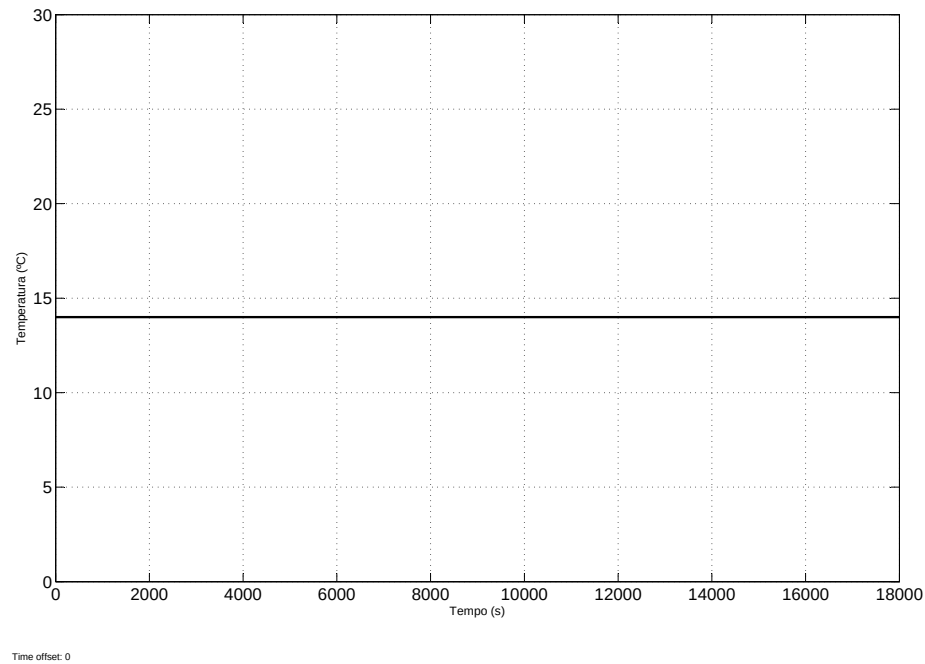
**Figura 31: Curva de tempo para temperaturas de conforto**  
**Fonte: Autoria própria**

### 6.3.3 Situação de regime

Após atingir a temperatura estabelecida a idéia é que a energia interna da água e mais a potência injetada sustente a temperatura ao patamar estabelecido, 14°C, grande o suficiente para manter a sobrevivência dos animais até que as condições climáticas retornem a um nível

aceitável.

Utilizando a mesma potência da situação de aquecimento teremos uma manutenção da temperatura, como o mostrado na figura 32:



**Figura 32: Manutenção da temperatura com mesma potência**  
**Fonte: Autoria própria**

### 6.3.4 Consumo energético

Pode-se supor que praticamente a demanda energética do conjunto é igual à potência elétrica ativa para a manutenção da carga térmica, sendo assim o padrão de consumo do sistema é bastante simplificado. Quando se considera que consumidores rurais são enquadrados no sistema tarifário monômio, categoria B2, para o cálculo da energia elétrica consumida em kWh, basta multiplicar-se a potência demanda pelo tempo de uso.

$$E = q.t \quad (6.19)$$

O tempo avalizado para o cenário hipotético, em segundos conforme pode ser observado nos gráficos 31 e 32 e sabendo que a potência utilizada foi constante no valor de 6.600W, tem-se a magnitude do gasto energético:

$$E = q.t = q.(t_{aque} + t_{reg}) = 6,6kW.(18000 + 18000) = 237600kJ = 66kWh$$

Pela simulação foram 36.000 segundos no total ou seja 10 horas de uso.

#### 6.3.4.1 Gasto tarifário

De acordo com a Copel(2011) consumidores rurais com atividade direcionada a aquicultura no estado do Paraná em tensão menor que 2,3 kV são enquadrados no sistema de tarifação monômio. Um valor aproximado para a tarifa do grupo rural, B2 aquicultura é de 0,10788 R\$ por kWh.

Portanto, os gastos financeiros para a utilização do aparato para os parâmetros de simulação do cenário hipotético deste trabalho, representam o seguinte valor financeiro:

$$Gasto = 66kWh.0,10788 \frac{R\$}{kW.h} = R\$7,12$$

#### 6.3.4.2 Ordem de grandeza anual

Extrapolando-se os cálculos para além do tempo de simulação do cenário hipotético, pode-se estimar a ordem de magnitude para uma escala anual. Do estudo das cartas climáticas paranaenses, tem-se a projeção de 200 horas de temperatura abaixo de 7°C no estado do Paraná. Entratanto, essa é a temperatura do ar que é diferente da água do tanque de criação.

Sabe-se que a água é um bom isolante térmico, ou seja, para abaixar a sua temperatura aos mesmos níveis críticos do ambiente atmosférico, a mesma precisaria estar exposta continuamente até que se atinga o equilíbrio térmico. À grosso modo, estima-se uma ordem de 100 h anuais de temperatura crítica anual do ambiente aquático propriamente dito, e multiplicando por uma escala de dez os resultados da sub-seção anterior (Gasto tarifário), chega-se à seguinte ordem de magnitude para o consumo e gasto tarifário anuais com eletricidade para manutenção do refúgio térmico:

- Consumo anual= 660kwh
- Gasto tarifário anual=R\$71,20

## 7 COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

### 7.1 Comentários

Um trabalho multi-disciplinar exige esforço. Esforço para compreensão de novos conceitos que podem não fazer parte do elenco pessoal de conhecimento e serem aparentemente muito complexos. Contudo, essa dificuldade pode ser compensada uma vez que passa-se a pensar no problema sobre um enfoque distinto daqueles que lidam com o mesmo problema diariamente, observa-o com uma visão que carrega a conjunção da própria formação profissional, o que em nosso caso, a engenharia elétrica.

Quando levantou-se o tema, ainda na etapa de metodologia aplicada ao TCC, a situação problema ainda se apresentava sem os contornos bem definidos, pois faltava a compreensão técnica que referência bibliográfica permitiria. Avaliava-se que os peixes morriam apenas porque a temperatura baixa do meio era danosa.

A estrutura de base do trabalho, após a apresentação da proposta, buscou delimitar as condições de contorno para uma compreensão abrangente da situação problema. Nessa etapa fez-se um estudo de tópicos de ictiologia, limnologia e qualidade da água. A mortalidade dos peixes foi entendida como resultado da influência de outros parâmetros e vista como consequência de um sistema muito mais dinâmico do que o suposto inicialmente, sendo função das relações dos fatores abióticos e bióticos do ecossistema do peixe.

Do ponto de vista metodológico, buscou-se simplificar os agentes causadores de debilidade fisiológica ictea, de forma a eleger-se o tripé primordial causador da morte pística: temperatura, oxigenação e nível de amônia. Além do mais, para que a proposta fosse específica, escolheu-se uma espécie de trabalho que tivesse apreciação popular e representatividade na atividade de piscicultura, optando-se assim pela *Oreochromis niloticus*, conhecida como Tilápia do rio-Nilo.

Fundamentou-se teoricamente os conceitos físicos envolvidos na dinâmica do refúgio, tais como escoamentos de fluidos e transferências de calor. Elegeram-se a temperatura e a vazão como

variáveis das funções de transferência. Delineou-se matematicamente a oxigenação e propôs-se formas de expurgamento da amônia. O problema tinha sido delimitado, a teoria envolvida nos processos físicos referenciada e apontava-se para uma solução de engenharia.

Faltava ainda uma resposta primordial: tilápias migram quando induzidas por um fluxo de água quente? Um primeiro protótipo de experimentação laboratorial precisava ser contruído. Para contruí-lo de forma à ter validade de simulação do viveiro-refúgio usou-se de diversas adaptações construtivas, como o mergulho do sistema de refrigeração de uma geladeira na água para abaixamento da temperatura e reforma da carcaça de uma câmara de ensaios de corrosão, originalmente destinada ao descarte.

Vencida a etapa de projeto e a construção do protótipo realizou-se um ensaio biológico para validação empírica da hipótese da migração voluntária das tilápias. Os resultados foram melhores que o esperado. Sim, migram, e são sensíveis a ponto de meio grau de gradiente de temperatura ser suficiente para atraí-las.

Não se pode omitir que, quando da idealização teórica da proposta, a principal incerteza era concernente a viabilidade biológica da mesma. Ou seja, se os peixes não migrassem, talvez constituísse um trabalho academicamente inócuo, e se eles migrassem, talvez, mesmo que parcialmente, pudesse se contribuir com ferramentas de engenharia para solução um problema no campo da criação animal.

Sistematicamente interagiu-se com a comunidade de pesquisadores e estudiosos da piscicultura, bem como agentes da cadeia produtiva e entidades governamentais. O objetivo metodológico era o de ouvir críticas para o aprimoramento dos conceitos e idéias do projeto. A idéia foi avaliada positivamente pela comunidade inserida no contexto regional dessa cultura zootécnica. Entre as principais interações com outros públicos cita-se:

- Visitas ao Ministério da Pesca na circunscrição de Curitiba.
- Visitas aos pesque-pagues e piscicultores, com destaque ao pesqueiro Valle Verde em Mandirituba.
- Participação da Confraria da Tilápia que reúne os representantes paranaenses envolvidos na cadeia produtiva da Tilpia.
- Participação da feira na ExpoUT, apresentando o protótipo construído para realização do ensaio comportamental dos peixes.
- Realização da disciplina de piscicultura na UFPR com a turma de zootecnia.

Quando da estruturação deste trabalho até o seu capítulo 5, mesmo com os equacionamentos matemáticos, do ponto de vista dos parâmetros envolvidos no projeto, ainda não se tinha uma ordem numérica de seus valores, seja de (a) fluxos das válvulas do modelo de vazão, (b) carga térmica necessária, (c) magnitude da temperatura e (d) magnitude da vazão em regime estacionário, e (d) os tempos de respostas das funções de transferência.

Valores numéricos permitem a comparação com outros sistemas que já existem e facilitam a análise crítica, julgamento de viabilidade e servem ainda para a previsão de resultados. Entretanto, valores numéricos representam, em termos matemáticos, a relação de imagem para um conjunto domínio. Ou seja, definida uma faixa de operação, e conhecida a lei, isto é, a função que rege o evento, ter-se-á um conjunto resposta, que é limitado e, com a imparcialidade do pensamento matemático, analisar se os resultados estão dentro de limites viáveis.

Seguiu-se exatamente essa linha de pensamento para observância se o refúgio apresentaria resultados dentro dos esperados, tais como, carga térmica e, conseqüentemente, projeção monetária baixa para seu funcionamento. Isto é, equacionou-se matematicamente as funções que descreviam os processos físicos envolvidos, conjecturou-se um cenário climático crítico hipotético e verificou-se a resposta para os parâmetros desse cenário.

O cenário escolhido para simulação do sistema foi feito de forma a manter um paralelismo com o ensaio comportamental realizado, ou seja, para dimensionar o refúgio térmico optou-se por definir cultivo de juvenis da Tilápia do rio-Nilo por estarem na mesma fase de desenvolvimento dos peixes outrora usados para a validação empírica.

Ainda optou-se pela caracterização de cenário que pudesse representar uma criação da região curitibana, ou seja, um viveiro de dimensões encontradas localmente no Paraná para um sistema de cultivo com grau baixo de manejo, sem aporte de tanta tecnologia ou mesmo avaliação continuada dos índices zootécnicos, para a representação de uma cultura até mesmo gerida de forma familiar.

Dimensionou-se o refúgio para o cenário hipotético caracterizado e definiu-se o seu volume em concordância com nível de aglomeração máximo dos peixes avaliado de pelas referências bibliográficas, e dimensionou-se um sistema de aeração artificial, já comercialmente existente, e que mantivesse a água em nível de saturação de oxigênio.

Com a medida de volume do refúgio, e definida a disposição física do mesmo, calculou-se seus entes geométricos, que no caso, por estar representado por um prisma regular reto, correspondia à magnitude de suas arestas.

O dimensionamento construtivo e escolha teórica de materiais para constituição de suas paredes permitiria o cálculo de suas grandezas térmicas: resistência e capacitância. Além do mais, o modelo hidráulico dependia da ordem de grandeza desse dimensionamento para simulação de sua resposta.

Vencidas essas etapas, numericamente obtiveram-se as seguintes magnitudes para um cenário de biomassa total 112kg de peixe, em uma situação de temperatura ambiente adversa de 5° C:

- Volume do refúgio: 4 metros cúbicos.
- Vazão em regime de equilíbrio: 0.0462 l/s (algo em torno de 2,7 litros por minuto)
- Carga térmica necessária: 6,6 kW.
- Manutenção da temperatura dentro do refúgio: 14°C (que de acordo com as referência pode representar a sobrevivência, uma vez que abaixo de 12° os peixes podem morrer).
- Gasto anual para funcionamento de 100 horas anuais do refúgio térmico: R\$ 71,20.

## 7.2 Conclusão

Optou-se pela caracterização de um cenário representativamente paranaense para a parametrização das variáveis dos modelos, ou seja, um viveiro de dimensões locais para um sistema de cultivo com grau baixo de manejo, sem aporte de tanta tecnologia ou mesmo avaliação continuada dos índices zootécnicos.

Uma análise pragmática dos resultados numéricos advindos das simulações, assumindo a efetividade do dispositivo e alicerçada pela validação dos ensaios comportamentais, permite concluir que, mesmo parcialmente, a realização prática deste trabalho pode contribuir positivamente para a piscicultura local, seja diminuindo a mortalidade ou melhorando o conforto fisiológico e desenvolvimento dos peixes quando submetidos a situações climaticamente adversas.



## 8 DESDOBRAMENTOS

O objetivo geral deste trabalho foi a concepção e viabilização técnico-acadêmica de um aparato denominado como refúgio térmico, e que este pudesse configurar uma nova solução de engenharia para diminuir a mortandade píceca em situações de degradação climática do meio de cultivo.

O dispositivo regra uma zona controlada de conforto fisiológico para onde os peixes migram voluntariamente quando atraídos por um fluxo de água quente oxigeno-saturada que desemboca para o meio de cultivo. Projetado para ser anexado ou inserto aos viveiros de tilapicultura, sendo que possui volume restrito, o que o configura como uma região de adensamento populacional ícteo. Este dimensionamento diminuto lhe permitiria demandar baixa potência energética.

Quando da realização teórica deste trabalho aliada aos aspectos práticos do mesmo, tais como:

- construção de prototipagem para validação comportamental,
- visitas e integração com as comunidades relacionadas à cadeia produtiva,
- contato com responsáveis por entidades governamentais, e
- realização da disciplina de piscicultura na UFPR com a turma de zootecnia.

Novas ideias foram sendo agregadas para aplicabilidade do mesmo. Este fato é interessante, pois permite pensar que o refúgio possa se transformar em um produto e que congregue atrativos extras, além da redução da mortalidade.

## **8.1 Aplicações do refúgio térmico diretamente na Piscicultura**

Apresenta-se na sequência outras possíveis formas de aplicabilidade para o refúgio além da diminuição da mortalidade. No entanto, nessa etapa de idealização de outros possíveis usos, além dos quais foi projetado inicialmente, abre-se mão do rigor da prova científica e eximi-se de modelagens e análises técnicas da viabilidade, como feita para os parâmetros que eram os objetivos do trabalho. São idealizações. Quisera que pudessem se transformar em valores de produto.

### **8.1.1 Homogeneidade e separação de lote**

Técnicas de amostragem e seleção periódica são ferramentas de manejo muito importantes na piscicultura para a avaliação produtiva e sanitária, e também na homogeneização dos lotes (OLIVEIRA et al. 2003).

Com vistas à morfologia do refúgio, ele pode ser empregado quando realizar a separação de espécies ou de tamanhos de peixes são desejáveis. Por exemplo, pode-se fazer a utilização do mesmo como uma peneira ao se alocar uma tela com orifícios de dimensões desejadas no canal de acesso. Dessa maneira apenas os peixes de certo tamanho conseguiriam migrar para dentro do refúgio.

Existindo a possibilidade de se limitar o tamanho dos peixes que entram no refúgio, a isca térmica poderia ser utilizada para atrair os animais de menor porte para dentro deste. Isto tornaria o trabalho de homogeneização uma tarefa mais fácil para o piscicultor.

Os seguintes ganhos podem ser avaliados:

- direcionar a dieta para cada tipo (fase de desenvolvimento ou espécies distintas) de peixe, oferecendo uma ração no viveiro e outra no refúgio,
- auxiliar na manutenção no processo de homogeneidade do lote, ou seja, fazendo a separação dos lotes e destinando-se a ração mais adequada para os tipos de peixes, pode-se melhorar a nutrição, evitando, por exemplo, que animais dominantes intimidem os animais submissos de se alimentarem.
- provável retirada de espécies invasoras do criatório. Elas geralmente têm tamanhos menores do que os peixes cultivados, como o lambarí (*Astyanax* sp.) e competem pela ração

e espaço nos viveiros.

### 8.1.2 Despesca

A despesca geralmente é realizada com o esgotamento total ou parcial da água dos tanques/viveiros (OLIVEIRA et al. 2003). Este processo é bastante trabalhoso e implica na eliminação da água utilizada no cultivo. Todavia, os peixes estando concentrados no refúgio, este processo seria facilitado. Esse fato culminaria em menos homem-horas de trabalho para a realização da atividade.

### 8.1.3 Abate por choque elétrico

Uma das etapas de produção mais críticas para manter a qualidade da carne do peixe é o processo de abate. Vargas (2011), estudou três métodos de abate sobre a qualidade da carne de matrinxã (*Brycon cephalus*): morte por choque térmico (com água e gelo), asfixia por saturação de gás carbônico e choque elétrico. De acordo com a tese, não foi observada diferença significativa na qualidade da carne entre os métodos, mas constatou-se que o choque elétrico é mais rápido e causa menor sofrimento ao animal (morte em dois segundos, enquanto o choque térmico matou em 6,21 minutos e a asfixia em 14 minutos).

Uma vez que os peixes estejam confinados no refúgio, a aplicação do método de choque elétrico para o abate do lote contingenciado dentro do mesmo seria facilitado.

### 8.1.4 Outras espécies de peixes na região Sul e Sudeste

Animais pecilotérmicos não resistem a baixas temperaturas por não possuírem mecanismos de regulação interna da mesma, ou seja, mantêm comportamentos e se abrigam em regiões termicamente mais adequadas. O clima é um problema para a tilapicultura curitibana para o cultivo de outras espécies com características afins à tilápia nilótica.

Um exemplo é a carpa comum, espécie mais cultivada no mundo. O dispositivo poderia também ser utilizado para criação de outros peixes comerciais, como por exemplo, pacu, tambaqui e dourado, que são peixes pouco resistentes a climas frios.

Como Santa Catarina é um estado que se destaca na produção nacional de peixes, e possui um clima com afinidades ao de Curitiba, em que no inverno também se atingem baixas temperaturas, seria conveniente pensar abranger os piscicultores dessa localidade, já que possivelmente

sofrem dos mesmos problemas relativos ao clima.

### **8.1.5 Outras espécies de peixes na região Norte e Nordeste**

Fazer o caminho contrário do mapa, aumentaria o enfoque inicial do trabalho, isto é, difundi-lo em outros estados na região Norte e Nordeste do Brasil, em que a temperatura é alta e que poderia prejudicar algumas espécies.

No Norte e Nordeste o método do refúgio seria aplicado de forma inverso, por exemplo, para o cultivo de salmonídeos, tais como truta e salmão, já que estes animais são de frio e crescem mais em temperaturas menores, além de terem uma temperatura ideal abaixo dos 15°C. Nestes animais seria interessante se no verão houvesse um refúgio de águas frescas para uso em dias críticos de temperaturas quentes.

### **8.1.6 Aplicação científica**

É relevante saber-se a respeito da adaptação das espécies quando submetidas a diferentes temperaturas, principalmente quando se pensa em utilizá-las em laboratório. As temperaturas críticas e a zona de conforto podem variar em função de parâmetros como a espécie e estágio de desenvolvimento.

Dados a respeito da adaptabilidade e desenvolvimento dos animais quando submetidos a diferentes temperaturas podem ser utilizados para melhorar as condições de (a) produtividade, (b) reprodução e mesmo de (c) bem estar-animal.

Existem espécies que ainda não têm estes limites estabelecidos e, até mesmo sobre as mais estudadas, podem haver divergências. O refúgio poderia ser utilizado como ferramenta para medir as temperaturas críticas e zonas de conforto.

### **8.1.7 Acessório contra predadores e sistema presa-predador**

O refúgio pode ser usado de forma acessória no papel de abrigo contra predadores, como os pássaros. Uma vez que trata-se de uma região fechada em todo o seu contorno de lateridade, piso e teto, possuindo apenas um canal de acesso, assimililaria características análogas as dos recifes de corais, nos quais os peixes se escondem em seus entremeios para se protegerem. .

## 8.2 Diferenciação entre Refúgio Térmico e Estufa

Estufas são estruturas com o objetivo de reter o calor, e assim manterem uma temperatura maior no seu interior que a do meio externo. Uma fonte de calor é o sol. A radiação solar que aquece o ambiente interno não é perdida com as correntes convectivas. Sendo assim, são recintos fechados para elevação da temperatura interna e quando especificadas para uso com animais, as espécies são inseridas em seu interior por ação humana.

O conceito refúgio térmico é relativamente diferenciado, congrega também aspectos de temperatura interna relativamente mais confortável que a do exterior. Mas, de forma genérica, é uma zona controlada de conforto fisiológico. A sua distinção fundamental é a de fazer com que os animais migrem e se abriguem voluntariamente em seu interior.

Ou seja, o conceito de refúgio engloba o condicionamento de variáveis para o conforto fisiológico e atração do animal para induzir uma migração voluntária para seu interior.

A princípio, ainda que modesto, dada a pesquisa deste trabalho, pode se tratar de um conceito novo.

## 8.3 Aplicações de refúgio térmico no reino animalia

O entendimento do executores deste trabalho é o de que a aplicação de um refúgio térmico, do ponto de vista teórico, é válida para muitos animais de interesse zootécnico, considerando também os não aquáticos.

Outras aplicações para o refúgio térmico, dirimindo-se de qualquer análise prévia de viabilidade técnica de implantação ou estudo científico, e que não necessariamente sejam relacionadas à cultivos em ambientes aquáticos, são apresentadas abaixo.

O objetivo dessa discussão é o de despertar, porque não, o interesse de projetos de engenharia no âmbito da vida animal utilizando-se do conceito de refúgio térmico proposto nesse trabalho.

### 8.3.1 Criação de Rãs

O refúgio térmico poderia ser empregado também na ranicultura. Segundo Pádua, a temperatura ideal da água para crescimento de girinos varia na faixa de 22 e 30°C. Logicamente, há de se fazer o teste do método de "isca térmica", no qual se avaliaria a influência de um fluxo de

água aquecida sobre o comportamento dos girinos, verificando se estes migrariam, ou não, para o refúgio.

### **8.3.2 Criação de Camarão**

Outro sistema que poderia aceitar este mecanismo é o de criação de camarão de água doce. Neste sistema, o controle da temperatura é muito importante nos primeiros seis meses de vida, correspondendo às fases de pós-larva e juvenil, período no qual se busca, idealmente, um ambiente com temperatura de pouco mais que 20°C. Da mesma forma que no cultivo de rãs, é necessário o teste de comportamento com relação ao fluxo de água mais quente.

### **8.3.3 Refúgio para a aquicultura em geral**

A temperatura é um dos fatores de maior importância para peixes ornamentais ((??)). Desta forma, aquários para este tipo de peixes costumam ficar restritos a espécies adaptadas a baixas temperaturas. Tais peixes possuem um valor monetário por vezes elevado e por diminuir a taxa mortalidade, compensaria o pagamento por um aparato destes.

Em um grande aquário com várias espécies, peixes de águas frias e peixes de águas mais quentes, os animais poderiam escolher o local de melhor conforto, usando-se, concomitantemente, refúgio de águas frescas e de águas mornas.

Um refúgio fisiológico poderia ser utilizado como meio para facilitar a reprodução do salmão, já que ele retorna à água doce do rio para fazer a desova. Desta forma, criaria-se um tipo de refúgio estrategicamente localizado para atraí-lo e facilitar esse processo.

Ainda, ao ser implantado o refúgio térmico em cursos de rios, ele funcionaria como um abrigo aos peixes em épocas de cheias, visto que algumas espécies podem ser arrastadas pelas correntezas para longe do seu habitat natural.

## **8.4 Continuidade acadêmica e empreendedora do projeto**

### **8.4.1 Continuidade acadêmica**

Como indicado em algumas seções deste trabalho, o grau de refinamento e complexidade podem ser aumentados, seja pela inclusão de novas variáveis às funções de transferência ou

para um delineamento analítico matemático mais abrangente, tais como realizados para a vazão, oxigenação e temperatura.

Essas novas variáveis investigativas poderiam ser relacionadas por exemplo à toxicidade por amônia, p.H, níveis de nitrogênio e fósforo, alcalinidade, dureza, turbidez mineral e nível de eutrofização do meio de cultivo, entre outras.

Explorar <sup>1</sup> ainda disposições contrutivas de forma a facilitar mais os objetivos de (a) renovação controlada de água, (b) manutenção de um padrão temperatura, (c) aeração ótima, (e) entrada selecionada de peixes e bem como (f) a retirada dos excrementos.

Refinar os resultados para outras formas gemoétricas além de uma configuração cúbica implica empregar-se técnicas tais como o método dos elementos finitos, uma vez que diferentes disposições físicas menos simples interligam-se de forma diretamente proporcional à complexidade matemática de caracterização dos processos.

Criar critérios e formas comparativas de análise do ponto de vista econômico o possível ganho pecuniário por uso de um sistema afim ao refúgio térmico em contrapartida de outras soluções usadas atualmente, como as estufas.

Além do mais, questionar a viabilidade de outros itens de interesse do projeto, como:

- Controle antifungicida para diminuição da vulnerabilidade imunológica íctea dentro de uma região de adensamento populacional.

- Mensuração da quantidade mássica de peixes que entra e sae do confinamento, valendo-se da caracterização de escoamentos multifásicos baseada na rigidez dielétrica por meio de eletrodos colocados no interior do canal de acesso, almejando otimizar o controle.

- Funcionamento automático e inteligente do dispositivo quando da interpretação das variáveis abióticas em situações que possam caracterizar risco à vida do peixe:

- período noturno,
- taxa de variação negativa de temperatura,
- concentração elavada de peixes dentro do refúgio,
- nível de amônia alto, entre outras.

---

<sup>1</sup> Os graduandos deste trabalho atualmente participam de atividades de pós-graduação relacionadas a este projeto.

Incorporar do uso de insumos renováveis acessíveis nas regiões onde os tanques de piscicultura se inserem, como a madeira e gás metano de excrementos dos animais, convergindo com o ideal de praticidade e rusticidade, além da imagem de ambientalmente correto e aplicabilidade abrangente do dispositivo.

#### **8.4.2 Continuidade empreendedora**

A maturação e o entendimento mais aprofundados da piscicultura nesse 1 ano e meio de trabalho, bem como a especificação de uma patente de invenção, permitem avaliar que a automação agroindustrial apresenta-se fértil para a inovação tecnológica, além do mais, como um possível ramo de atuação profissional, uma vez que percebeu-se um distanciamento empregatício de engenheiros de áreas tecnológicas nas atividades de cultivo animal e mesmo vegetal.

É interessante pensar que mais engenheiros atuando nessa área, poderia desenvolvê-la e até transformar formas atuais de cultivo que ainda hoje por vezes são familiares ou ainda de subsistência. Não cabe aqui a discussão sobre o que acarretaria a automação desses setores, uma vez que essas atividades em grande parte são familiares ou de subsistência. Mas sim pensar que o advento de tecnologia pode-se traduzir em desenvolvimento.

Observando este cenário deste trabalho surge a motivação para incubação de um empresa de base tecnológica para automação de processos agroindustriais, com enfoque inicial na aquicultura.



# REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C. *Fundamentos de circuitos elétricos*. [S.l.]: Bookman, 2003.
- AQUICULTURA, B. *Aeradores para aquicultura*. 2011. Disponível em: <<http://www.bernaueraquicultura.com.br/>>.
- AQUICULTURA MINISTÉRIO DA PESCA, E. *Aquicultura no Brasil*. 2010. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/mpa/seap/html/aquicultura/index.htm>>.
- BORBA, M. et al. **Influência do emprego de tanques-rede sobre a qualidade da água em um viveiro de piscicultura**. In: *CONGRESSO AQUICULTURA BRASIL*. [S.l.: s.n.], 1998. v. 98, p. 449–461.
- BOSSOLAN, N. R. S. *Atlas de Dissecção de Invertebrados*. [S.l.]: USP, 2001. Aulas Práticas.
- BRAGA, W. *Densidade da água*. Disponível em: <"<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/421-densidade-da-agua-em-diversas-temperaturas.html>,">.
- BRAGA, W. *Transmissão de Calor*. 1. ed. São Paulo: Thomson, 2004.
- BULL, D. W. *Físico-Química*. 1. ed. São Paulo: Thompson, 2005.
- CARBALLO, E. et al. *AD15P 2008 Piscicultura de água doce em pequena escala*. 3. ed. Wageningen - Países Baixos: Agromisa Foundation, 2008. ISBN 9085730791.
- COAD, B.; MCALLISTER, D. *Dictionary of Ichthyology*. *First posted*, v. 4, 2002.
- COLOMBO, J. C. **Determinação do Oxigênio Dissolvido**. NOTAS DE AULA. 2010.
- COPEL. *Atlas do Potencial Eólico do Paraná*. Curitiba: [s.n.], 2007.
- COPEL. *Tarifa para aquicultura*. 2011. Disponível em: <<http://www.copel.com/>>.
- ESTEVES, F. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Funep, 1998.
- FIORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. **A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquático**. *Química Nova Escola*, p. 6, 2005.
- HOPKINS, K.; BOWMAN, J. **A research methodology for integrated agriculture-aquaculture farming systems**. In: *Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of an Aquacultural Engineering Conference*. [S.l.: s.n.], 1993. p. 21–23.
- IAPAR. *Cartas Climáticas do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1994.
- INCROPERA, F.; DEWITT, D. *Fundamentos de transferencia de calor*. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Education, 2002. ISBN 9701701704.

- KUBITZA, F. *monitorando a saúde dos peixes*. *Panorama da Aquicultura*, n. 47, p. 36–39, dez 2000.
- LIMA, S.; CASALI, A.; AGOSTINHO, C. *Revista Brasileira de Zootecnia*, SciELO Brasil, v. 32, n. 3, p. 512–518, 2003.
- LUND, V. X.; FIGUEIRA, M. L. *Criação de Tilápias*. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1989.
- MAEDA, H. et al. Efeitos da densidade de estocagem na segunda alevinagem de tilápia nilótica (*oreochromis niloticus*), em sistema raceway. *Ciência Animal Brasileira*, v. 7, n. 3, p. 265–272, 2006.
- MEDEIROS, F. C. *Tanques Rede: mais Tecnologia e Lucro na Piscicultura*. Cuiabá: [s.n.], 2002.
- MUEHLMANN, L. D. et al. *Manual Básico de Piscicultura*. [S.l.]: EMATER, 2004.
- MUIR, J. F.; NUGENT, C. G. **Aquaculture Production Trends: Perspectives for food**. *Kyoto Security Conference*, 1995.
- NOMURA, H. *Vamos criar peixes*. [S.l.]: Editerra, 1985.
- ONO, E.; KUBITZA, F. *Cultivo de Peixes em Tanques-Rede*. 3. ed. Jundiaí: E.A, 2003.
- OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J.; SOTO, D. *Aquicultura no Brasil o Desafio é Crescer*. [S.l.]: Brasília, 2008.
- PEIXOTO, E. M. **Oxigênio**. *Química Nova Escola*, Rio de Janeiro, maio 1998.
- RANA, K. **Guidelines on the collection of structural aquaculture statistics. Supplement to the Programme for the World Census of Agriculture 2000**. *FAO Statistical Development Series (FAO)*, FAO, p. 55, 1998.
- RESENDE, E. de; OLIVEIRA, C. de; PUCHNICK, A. *melhoramento animal no brasil: uma visão crítica espécies aquáticas*. ., 2008. Disponível em: <<http://sbmaonline.org.br/anais/viii/palestras/pdfs/5.pdf>>.
- SCHMITTOU, H.; AKIYAMA, D. *High density fish culture in low volume cages*. [S.l.]: American Soybean Association, 1993.
- SEBRAE. *Criação de Tilápias em Tanques Rede*. 2003.
- SILVA, N. J. *Dinâmicas de desenvolvimento da piscicultura e políticas públicas no Vale do Ribeira / SP e Alto Vale do Itajaí /SC – Brasil*. Tese (Doutorado) — UNESP, Jaboticabal, 2005.
- STREETER, V. L.; WYLIE, B. *Mecânica do Fluidos*. 7. ed. São Paulo: McGrawhill, 1982.
- TAVARE, L. H. *Limnologia aplicada à aqüicultura*. *Boletim Técnico FUNEP*, Funep, São Paulo, 1994.
- VALENTI, C. W. et al. *Aquicultura no Brasil: Bases Para O Desenvolvimento Sustentável*. 1. ed. Jaboticabal: Funep, 2002.

VARGAS, S. *Avaliação de métodos de abate sobre a qualidade da carne de matrinxã (Brycon cephalus), armazenados em gelo*. Dissertação (Mestrado) — USP, 2011.

VIANA, L. S. *Produção de Tilápias em Tanques-Rede de Pequeno Volume na Região Metropolitana De Curitiba: Estudo de Casos*. VIANA, Luiz S. Tese (Doutorado) — UFPR, Curitiba, 2003.

YANCEY, D. R.; MENEZES, J. R. R. *Manual de Criação de Peixes*. 1. ed. Campinas: Circulo do Livro, 1989.

# GLOSSÁRIO

|                |                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eutrofização   | Enriquecimento do meio aquático com nutrientes, originando excesso de vida vegetal.                                                                                                                                 |
| Limnologia     | É o estudo de águas estagnadas como lagos e lagoas, assim como suas interações com a fauna presente no ecossistema.                                                                                                 |
| Ictiologia     | É a ciência que estuda a fisiologia dos peixes                                                                                                                                                                      |
| Píscio         | Referente a peixe                                                                                                                                                                                                   |
| Abiótico       | São os fatores externos, de origem química e física, que influenciam uma espécie em um ecossistema                                                                                                                  |
| Biótico        | São os fatores externos, de origem biológica, que influenciam uma espécie em um ecossistema                                                                                                                         |
| Piscicultura   | Forma de criação ou cultivo de peixes, em tanques e viveiros.                                                                                                                                                       |
| Aquicultura    | Criação de espécies de origem aquática, podendo ser peixes, crustáceos entre outros.                                                                                                                                |
| Cadeia Trófica | Conjunto de interdependências alimentares entre as diversas espécies em um ecossistema                                                                                                                              |
| Salmonídeos    | É um grupo de espécies de peixes, de regiões frias, que fazer parte da mesma ordem taxonômica, estão entre eles os salmões e as trutas.                                                                             |
| Alevinos       | É a fase do desenvolvimento dos peixes, logo após a eclosão do ovo, onde suas capacidades reprodutivas ainda não estão totalmente desenvolvidas.                                                                    |
| Plâncton       | Plâncton são organismos, em sua maioria unicelulares de origem animal e vegetal, que têm pouco poder de locomoção e vivem livremente na coluna de água, sendo muitas vezes arrastados pelas correntes.              |
| Zooplâncton    | O zooplâncton é o conjunto de organismos de origem animal que fazem parte do plâncton. Apresentam nenhuma capacidade fotossintética e pouca de locomoção, estão dispersos e sucetíveis as corrente de d'água.       |
| Fitoplâncton   | O fitoplâncton é o conjunto de organismos de origem vegetal que fazem parte do plâncton. Apresentam uma grande capacidade fotossintética e nenhuma de locomoção, estão dispersos e sucetíveis as corrente de 'água. |

|               |                                                                                                                                            |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Euritérico    | Entidades biológicas que toleram grande variação de temperatura                                                                            |
| Estenotérico  | Entidades biológicas que não toleram grande variação de temperatura                                                                        |
| Pecilotérico  | São animais cuja a temperatura interna é totalmente dependente da temperatura ambiente, conhecidos usualmente como animais de sangue frio. |
| Antrópica     | Referente ao ser humano ou as ações que este realiza.                                                                                      |
| Ganóides      | É a ordem taxonômica dos peixes cartilaginosos com escamas no formato arredondado e sobrepostas                                            |
| Cosmóides     | É a ordem taxonômica dos peixes cartilaginosos com escamas com presença de cosmina, substância?                                            |
| Ciclóides     | É a ordem taxonômica dos peixes osséos com escamas no formato delgado com elasticidade e forma variável                                    |
| Ctenóides     | É a ordem taxonômica dos peixes osséos com escamas no formato delgado com elasticidade e denticulação na parte posterior da escala         |
| Notocorda     | Notocorda é a estrutura embriológica que posteriormente, no caso dos animais vertebrados, formará a coluna vertebral.                      |
| Opérculo      | Opérculo é uma placa óssea localizada do lado da cabeça dos peixes e que cobrem a fenda branquial                                          |
| Pterigióforos | São os ossos cartilaginosos que articulam as barbatanas                                                                                    |
| Vômer         | É um osso situado no crânio cuja a função é formar a cavidade nasal                                                                        |
| Palatinos     | São ossos encontrados no crânio que formam o teto da cavidade bucal                                                                        |
| Hidrometeoros | Toda precipitação atmosférica formada pela água como chuva, granizo, neblina entre outros                                                  |
| Perenidade    | Capacidade de manter suas características invariáveis por um longo período de tempo                                                        |

## APÊNDICE A – ENSAIO COM SENSOR CAPACITIVO

### A.1 Introdução

Escoamentos multifásicos são caracterizados pela passagem simultânea de uma ou mais fases em uma tubulação. Este tipo de escoamento é comumente encontrado em várias aplicações industriais, tais como na extração de petróleo (escoamento de óleo e gás).

A caracterização de escoamentos multifásicos é de grande importância, pois estes determinam a eficiência e segurança dos equipamentos e processos onde ocorrem. Uma das formas de se caracterizar tais escoamentos se baseia na medida da capacitância elétrica através de eletrodos colocados no exterior da tubulação.

### A.2 Metodologia

Com o objetivo de otimizar o controle das variáveis dentro do refúgio térmico, realizou-se ensaios com o sensor capacitivo desenvolvido dentro da UTFPR, pela equipe de alunos Reinaldo Cardoso de Lima Neto, Wytila Chagas Sieczkowski e Nicolas Libert, como trabalho de conclusão de curso.

O fim dos ensaios foi o de medir a capacitância dos peixes, e assim desenvolver um sistema capaz de dimensionar a quantidade mássica de peixes dentro do refúgio. Esta variável tem como propósito otimizar o controle das características da água, em especial a oxigenação, que será inserida artificialmente dentro do confinamento térmico.

O sensor capacitivo projetado pela equipe de alunos citada consiste de dois eletrodos justapostos onde o escoamento multifásico forma o dielétrico do capacitor. Como as fases tem propriedades dielétricas distintas, pode-se distinguir cada uma das fases com a medida da capacitância.

Ao se inserir dois sensores capacitivos próximos, entende-se que há uma quantidade mássica de peixes que entra no refúgio quando os sensores são sensibilizados em uma ordem definida como entrada, e que a massa píceia sai, quando os sensores são sensibilizados na ordem inversa.

### A.3 Resultados

Conceitualmente, a aplicação da caracterização do escoamento pelo sensoramento capacitivo para mensuração da quantidade mássica de peixes, funcionaria sem problemas, dado que qualquer fase distinta com capacitância elétrica conhecida (mensurada na etapa de calibração do sinal do sistema) poderia ser captada.

Com a pré-disposição de se iniciar os ensaios, tendo como base o entendimento da concordância do modelo teórico que rege o princípio de funcionamento do sistema com o objetivo proposto, o primeiro ensaio prático foi realizado.



**Figura 33: Ensaio com os sensores capacitivos – Equipamento**  
**Fonte: Autoria Própria**

Contudo, como em qualquer ensaio científico, sua consecução de forma acertiva já na primeira tentativa é praticamente lúdica, verificou-se que o dimensionamento de alguma variável estava incorreto. A etapa de calibração do sinal que era feito em meio aquoso, através da mensuração da variação da capacitância elétrica quando da passagem de um peixe pelo tubo, não estava regulada e precisa o suficiente. A captação do sinal registrava distorções muito



**Figura 34: Ensaio com os sensores capacitivos – Realizando o ensaio**  
**Fonte: A autoria Própria**

pequenas, praticamente imperceptíveis.

A justificativa para a problemática deste ensaio deu-se por um fator de ordem fisiológica, da anatomia dos peixes. Uma vez que, segundo Weatherley e Gill(1987), as principais categorias de componentes do corpo do peixe são: água (predominante), lipídeos, proteínas, e pequena quantidade de carboidratos e minerais.

A composição química dos peixes varia de acordo com: espécie, idade, sexo, meio, ambiente, época do ano, entre outros fatores. A proporção dos músculos de pescado pode variar em 88% de água (HUSS,1998).

Ou seja, a rigidez dielétrica do peixe aproxima-se muito da própria rigidez do meio aquoso a que estava inserto, e conseqüentemente a distorção do sinal bastante baixa para uma captação acurada.

A solução proposta é a realização desta metodologia de ensaio pelo uso não da capacitância elétrica como parâmetro de medida, e sim a impedância elétrica das fases. Este procedimento, entretanto, requer algumas alterações na alocação sensores, que precisam agora estar internos à tubulação e também correções no software.

Essa técnica de sensoriamento mássico de peixes não é, entretanto, propriamente uma novidade tecnológica, dado que há empresas que já desenvolveram um sistema para a mensuração.



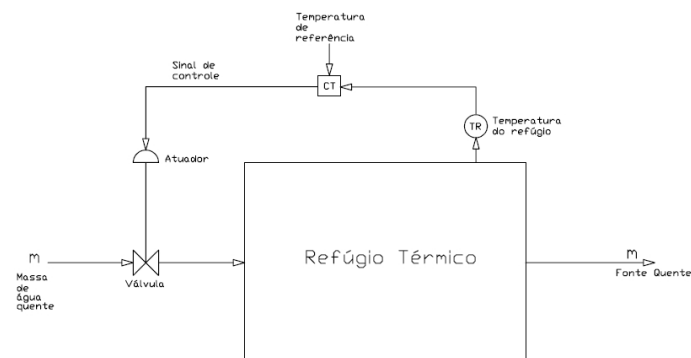
Contudo a síntese da aplicação é distinta. Em geral, aplica-se tal conceito para a verificação da passagem de peixes nos sistemas de geração de energia hídrica, nas turbinas, spillways e bypass, com o objetivo de diminuir os efeitos danosos às populações de peixes, que podem morrer quando submetidos a essa situação.

Uma discussão mais detalhada a respeito do desenvolvimento técnico e aplicações do sensor de peixes pode ser verificado no artigo referenciado na bibliografia, *“Evolution of the Sensor Fish Device for Measuring Physical Conditions in Severe Hydraulic Environments”*.

A importância do ensaio realizado é a verificação de uma aplicação tecnológica, sensor de peixes, teoricamente realizável para o aprimoramento do aparato tecnológico proposto pelo trabalho. Tal ensaio permiti, entre outras estratégias de continuidade, pensar em um estudo mais detalhado e aprofundado em um programa de pós-graduação, por exemplo.

## APÊNDICE B – MODELO DE SISTEMA DE TROCADORES DE CALOR PARA O REFÚGIO

Focando no sistema que irá entregar energia térmica para a água do refúgio um sistema de trocadores de calor apresentado na figura 35 é proposto



**Figura 35: Sistema de controle térmico**  
**Fonte: Autoria Própria**

O modelo consiste em promover alterações no fluxo de vazão da água proveniente da fonte quente, que percorre as serpentinas. Este fluido não se mistura com a água do abrigo, o que existe neste ambiente é um trocador de calor que faz apenas transferência térmica.

Para realizar o estudo é necessário desenvolver um modelo que relacione o sinal de temperatura do refúgio  $T(t)$  com a vazão da água de aquecimento  $\Psi_{tr}$ .

Alguns aspectos funcionais dos equipamentos utilizados devem ser descartados ou simplificados para o equacionamento do problema, pois, a relevância é pequena e tornam o problema complexo.

A válvula de vazão será de característica linear, sua dinâmica (atuador e corpo) serão equivalentes a um sistema de primeira ordem. O medidor de temperatura também terá um comportamento linear com dinâmica de primeira ordem.

O sistema de troca de calor será adiabático, sem perdas de calor para o ambiente, a massa específica da água é constante, não serão consideradas as resistências e capacitâncias térmicas nas paredes do trocador e assume-se que a pressão do líquido quente é constante na entrada da válvula.

Mantendo uma vazão constante no trocador de calor temos:

$$\frac{dm_{tr}}{dt} = \frac{d(\rho V_{tr})}{dt} = V_{tr} \cdot \frac{d\rho}{dt} = \Psi_e - \Psi_s \quad (\text{B.1})$$

$$V_{tr} \cdot \frac{d\rho}{dt} = 0 = \Psi_e - \Psi_s \quad (\text{B.2})$$

$$\Psi_e = \Psi_s \quad (\text{B.3})$$

Onde:

- $m_{tr}$  é massa de água que flui pelo trocador de calor.
- $\rho$  é a massa específica da água.
- $V_{tr}$  é o volume interno do trocador de calor.
- $\Psi_e$  e é a vazão de entrada do trocador ao entrar no refúgio.
- $\Psi_s$  é a vazão de saída do trocador ao entrar no refúgio.

Na inexistência de variação na válvula não existe mudança de volume, e uma massa específica o diferencial  $\frac{d\rho}{dt}$  é nulo.

O transporte de massa no refúgio pode ser expressa de forma análoga ao do trocador, entretanto para isso deve-se considerar o abrigo como a casca do trocador e utilizando as correntes convectivas como vazão.

$$\frac{dm_{ref}}{dt} = \frac{d(\rho V_{ref})}{dt} = V_{ref} \cdot \frac{d\rho}{dt} = \Psi_{refin} - \Psi_{refout} \quad (\text{B.4})$$

$$V_{ref} \cdot \frac{d\rho}{dt} = 0 = \Psi_{refin} - \Psi_{refout} \quad (\text{B.5})$$

$$\Psi_{refin} = \Psi_{refout} \quad (B.6)$$

Existe a passagem de energia entre o trocador e o refúgio, este valor somado é a variação de energia que entra e sai do trocador quando desprezamos as perdas.

$$\frac{dm_{tr}\mu_{tr}}{dt} = m_{tr} \cdot \frac{\mu_{tr}}{dt} = \Psi_e h_e - \Psi_s h_s - q = 0 \quad (B.7)$$

$$q = \Psi_e h_e - \Psi_s h_s \quad (B.8)$$

Substituindo B.5 em B.8 temos:

$$q = \Psi_e (h_e - h_s) \quad (B.9)$$

- $\mu_{tr}$  a energia interna de no trocador.
- $h_e$  e é a energia interna de entrada no trocador.
- $h_s$  é a energia interna de saída no trocador.
- $q$  é a energia transferida para o refúgio

A energia que é inserida no ambiente controlado faz a sua energia interna variar no tempo.

$$\frac{dm_{ref}h_{ref}}{dt} = m_{ref} \cdot \frac{h_{ref}}{dt} = \Psi_{refin}h_{refin} - \Psi_{refout}h_{refout} + q = 0 \quad (B.10)$$

Utilizando a igualdade apresentada em B.5 tem-se:

$$m_{ref} \cdot \frac{h_{ref}}{dt} = \Psi(h_{refin} - h_{refout}) + q \quad (B.11)$$

Para o cálculo aproximado das entalpias para os líquidos, refúgio.

$$h_{ref} = c_p T \quad (B.12)$$

$$h_{trofria} = c_p T_{trofria} \quad (B.13)$$

$$h_{troquente} = c_p T_{troquente} \quad (B.14)$$

Para o cálculo do fluxo de calor do trocador para o abrigo térmico.

$$q = UA(tro_{quente} - T) \quad (B.15)$$

Onde:

- $U$  é a constante global do trocador.
- $A$  é a área de transferência de calor entre o trocador e refúgio.

Substituindo B.13 e B.14 em B.11 obtemos a equação B.16 que é a quantidade de calor que é transferida de um meio para o outro.

$$q = \Psi_{val}(h_{quente} - h_{fria}) \quad (B.16)$$

Que por sua vez pode ser escrito da seguinte forma

$$q = \Psi_{val}c_p(T_{tro_{quente}} - T_{tro_{fria}}) \quad (B.17)$$

Substituindo B.16 em B.15 temos:

$$\Psi_{val}c_p(T_{tro_{quente}} - T_{tro_{fria}}) = UA(T_{tro_{quente}} - T) \quad (B.18)$$

Esta equação de que forma acontece a passagem da energia térmica entre o trocador de calor e o refúgio térmico, levando sempre em consideração as simplificações apresentadas anteriormente.

Para se adquirir uma função que caracterize o sistema como um todo se substitui as equações B.18 e B.13 em B.11 obtendo:

$$m_{ref}c_p \frac{dT_{tro}}{dt} = \Psi_{val}c_p(T_{tro_{quente}} - T_{tro_{fria}}) + \Psi_{ref}c_p(ref_{in} - ref_{out}) \quad (B.19)$$

## APÊNDICE C – MODELO ALTERNATIVO PARA OXIGÊNAÇÃO

### C.1 Modelo em analogia ao circuito elétrico

#### C.1.1 Aspectos gerais

O modelo teórico para dimensionamento do volume do refúgio térmico será feito em analogia com um circuito elétrico. Salienta-se de antemão que inicialmente buscou-se um equacionamento puramente analítico que fosse satisfatório e permitisse tirar conclusões diretas dos processos envolvidos quando da variação dos parâmetros.

Contudo, faltava uma representação figurativa que relacionasse todas as variáveis envolvidas nesse dimensionamento, ou seja:

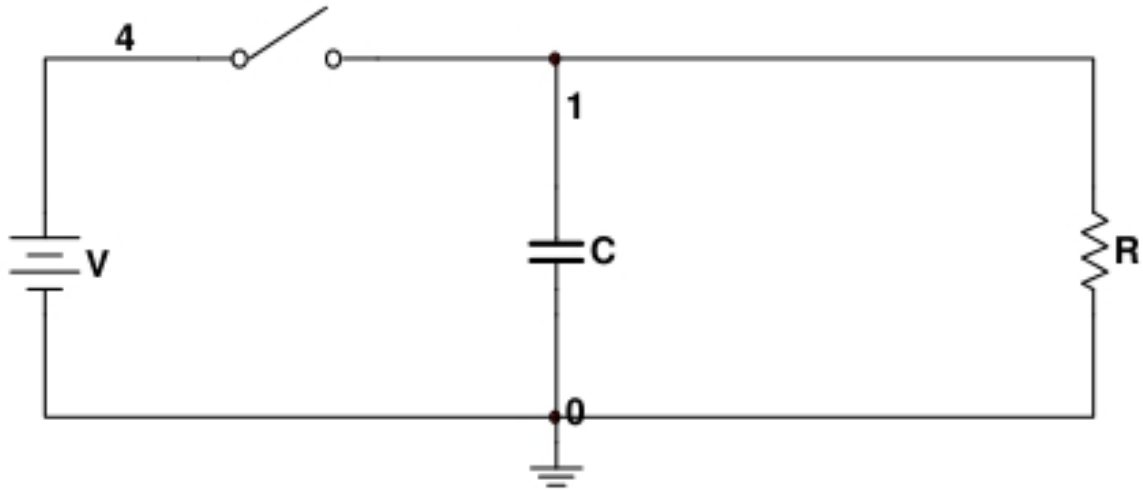
- (a) padrão de consumo de oxigênio da tilápia,
- (b) saturação da água,
- (c) massa de peixes abrigados,
- (d) valores nominais da bomba de aeração, e
- (e) dimensionamento em volume do refúgio.

A analogia que será apresentada permitiu a análise do problema utilizando métodos de análise de circuitos. Além do mais, através deste método, houve duplo resultado positivo (a) dimensionamento do refúgio pelo consumo mássico de oxigênio e (b) definição de um controle temporizado de forma a otimizar o sistema de oxigenação da água.

#### C.1.2 Circuito elétrico representativo

O circuito representativo é composto essencialmente por um circuito de duas malhas, em que estão em paralelo um capacitor, uma resistência e uma fonte de tensão contínua. Na malha

da fonte de tensão e do capacitor há uma chave temporizada. A disposição em termos dos parâmetros elétricos é mostrada na figura C.1.2.



**Figura 36: Circuito elétrico representativo**  
**Fonte: Autoria Própria**

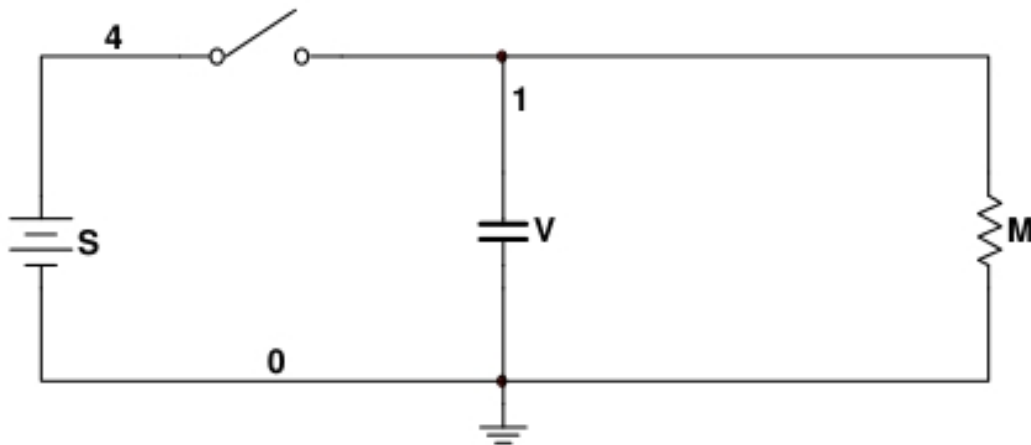
Os parâmetros de analogia são:

- Capacitância elétrica (C): volume do refúgio (V).
- Corrente elétrica da malha do bateria ( $I_b$ ): capacidade de oxigenação do aerador (B).
- Corrente elétrica da malha da resistor ( $I_p$ ): consumo de oxigênio dos peixes (P).
- Tensão contínua da bateria (U): nível de saturação da água (S).
- Resistência elétrica (R): constante oxi-íctea ( $\Upsilon$ ).

Sendo assim, o circuito elétrico em termos dos parâmetros não elétricos fica representado pela figura 36.

### **C.1.3 Discussão sobre a representatividade das grandezas**

De acordo com Alexander (2003), um capacitor é um circuito aberto para uma corrente contínua. Entretanto, se uma bateria (tensão cc) for conectada a um capacitor ele irá carregar até atingir o valor da bateria. O refúgio térmico de volume V (capacitância) vai dissolver (carregar) oxigênio (carga elétrica) até atingir a saturação da água (tensão cc da bateria).



**Figura 37: Circuito representativo do sistema de oxigênio do refúgio**  
**Fonte: Autoria Própria**

Um capacitor é um elemento que armazena energia em seu campo elétrico. A capacitância é a razão de carga armazenada pela diferença tensão. Unidade dada em farad (símbolo F). Na analogia, tem-se que: (a) o refúgio térmico representa o capacitor, (b) a capacitância é representada como sendo o volume do refúgio térmico e (c) o oxigênio que é armazenado representa a carga elétrica desse sistema.

A tensão é a energia necessária para mover uma unidade de carga através de um elemento, é medida em volts. Na analogia a tensão é representada pela saturação da água, S. No item (4.3.3), Oxigênio dissolvido, foi feita a discussão e tabelado valores para a variação da saturação da água com valores da temperatura da atmosfera.

Analisando-se macroscopicamente essa saturação, imagine um dia em que a temperatura caia, ou seja a saturação aumente de valor, e se tenha a equação que dê a taxa de variação da saturação com a temperatura. A saturação nesse caso poderia ser considerada com uma fonte de tensão em função da temperatura que por sua vez seria uma função do tempo. Contudo, para simplificação, poder-se-ia considerar, sem prejuízo para o modelo, que na analogia trata-se de um fonte contínua de tensão, ou seja, um valor único de saturação da água.

A lei de ohm estabelece que a tensão V em um resistor é diretamente à corrente que flui através do mesmo. Na analogia, a resistência elétrica é representada por uma constante denominada como constante oxi-íctea ( $\Upsilon$ ), que é uma grandeza relativa ao peixe. Ou seja, de suas características e que varia de acordo com a espécie e a quantidade de massa píceia, assim como a resistência elétrica varia de acordo com com resistividade (tipo de peixe) e o comprimento e área (quantidade de massa de peixe).



São duas as correntes representadas que servirão para a análise de malha do circuito proposto. Uma é a corrente elétrica da malha da bateria ( $I_b$ ) que representa a capacidade de oxigenação do aerador (B) e a outra é a corrente elétrica da malha do resistor ( $I_p$ ) que representa o consumo de oxigênio dos peixes (P), medidas na unidade de  $\frac{mg_{O_2}}{t}$ .  $I_b$  é uma característica nominal de funcionamento do aerador e  $I_p$  é o consumo no tempo de oxigênio de uma quantidade em massa de peixe abrigada no refúgio.

### C.1.4 Funcionamento do modelo temporizado

A situação de funcionamento do circuito elétrico é temporizada em dois momentos.

Primeiro momento: o capacitor está carregando e concomitantemente circula corrente. Atingido o valor de tensão da bateria o capacitor não se carrega mais, ou seja, o funcionamento da bomba de oxigenação é insipiente, visto que, atingida a saturação da água esta não retém mais oxigênio. Dessa forma, temporiza-se um chave de forma a abrir, ou seja, interromper o circuito da malha esquerda (desligamento do aerador) quando saturada estiver a água.

Vale salientar ainda que, eximindo-se a vazão (pequena) do canal de acesso ao refúgio, o sistema pode ser considerado fechado. E levantadas as características do aerador, de acordo com o seu manual (será feito nos tópicos seguintes), dimensiona-se o valor da corrente  $I_b$ .

Sabe-se no entanto que a característica da corrente de carregamento de um capacitor não é constante, mas tem um crescimento exponencial, praticamente estabilizado em 5 constantes de tempo. Do ponto de vista de dissolução de oxigênio no refúgio, pode-se também relacionar esse fato. Inicialmente, quando há pouco oxigênio (carga) dissolvido (armazenado) na água (campo elétrico), com mais facilidade ele é dissolvido nela, até um ponto de saturação.

Segundo momento: no ato de descarregar o capacitor, o processo é análogo. Contudo, a saída de carga do capacitor é feita pelo consumo dos peixes. Inicialmente, quando há muito oxigênio dissolvido em água é fácil para os peixes retirem oxigênio da água, diminuindo-se a quantidade de O.D essa retirada diminui, perfazendo um gráfico análogo ao processo de descarrego de um capacitor.

### C.1.5 Temporização da chave

A chave é temporizada de forma a otimizar o processo de dissolução do oxigênio na água, ou seja, deixa o circuito fechado carregando-se, e após é aberta. Permanece aberta até o limite de descarrego de meia carga. Esse limite de meia carga foi definido para o bem-estar do peixe

dentro do refúgio.

Esse processo continua ciclicamente. De forma, o aeradro funciona de forma temporizada e inteligente, consumindo energia de forma a funcionar até atingir a saturação da água e desligar-se até meia carga do capacitor representativo, sendo assim, do ponto de vista da otimização, um sistema inteligente e econômico.

### C.1.6 Equacionamento do modelo

Em termos elétricos:

$$V_c = \frac{1}{C} \int i_c dt \quad (C.1)$$

Em termos de parâmetros do refúgio:

$$S = \frac{1}{V} \int (i_b - i_p) dt \quad (C.2)$$

Vencidas as etapas de caracterização matemática, atribui-se valores às grandezas envolvidas nos equacionamentos para simular cenários. Por meio desse dimensionamento aproximado dos parâmetros busca-se eleger uma situação que simule a realidade para que assim obtenham-se as ordens de magnitude do fluxo de água quente desembocante para a atração dos peixes, bem como da demanda térmica do sistema.

## ANEXO A – CARTAS CLIMÁTICAS DO PARANÁ

Dados relevantes sobre as características físicas da região em estudo estão presentes nas figuras 38,39,40,41,42,43,44,45 e 46. Todas as figuras podem ser encontradas nas referências; IAPAR (1994) e COPEL (2007).

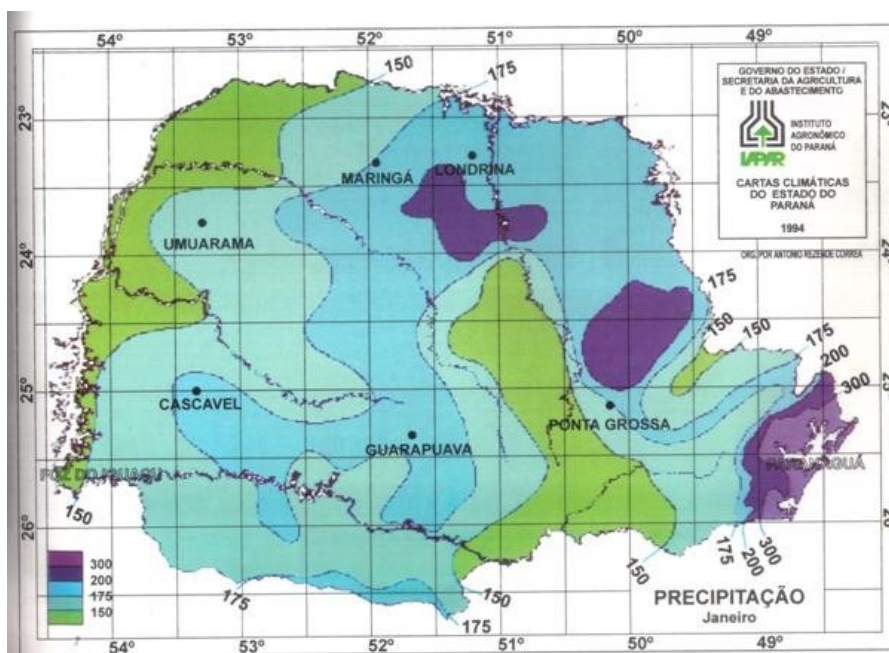


Figura 38: Precipitação do mês de Janeiro

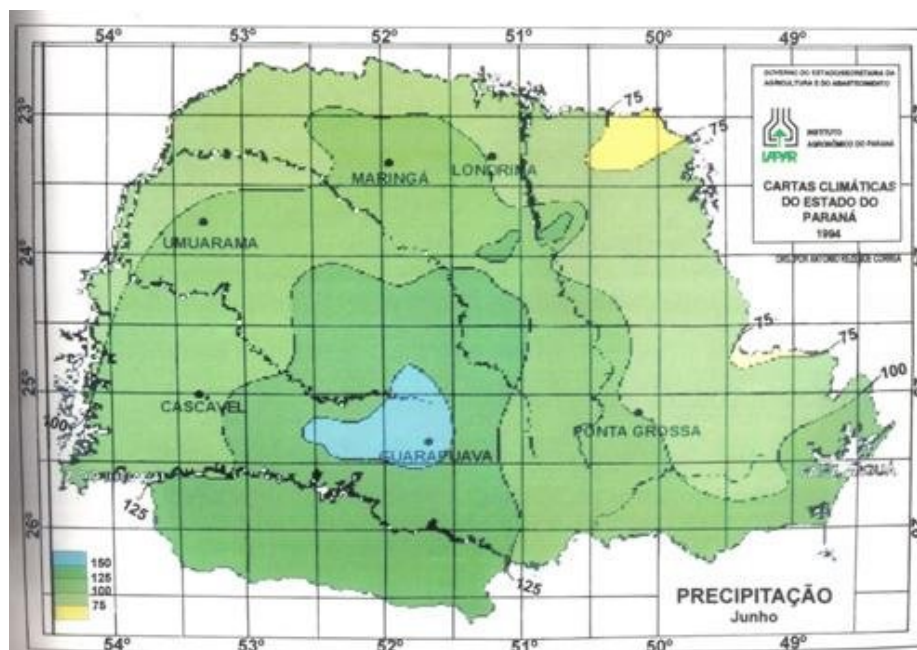


Figura 39: Precipitação do mês de Junho

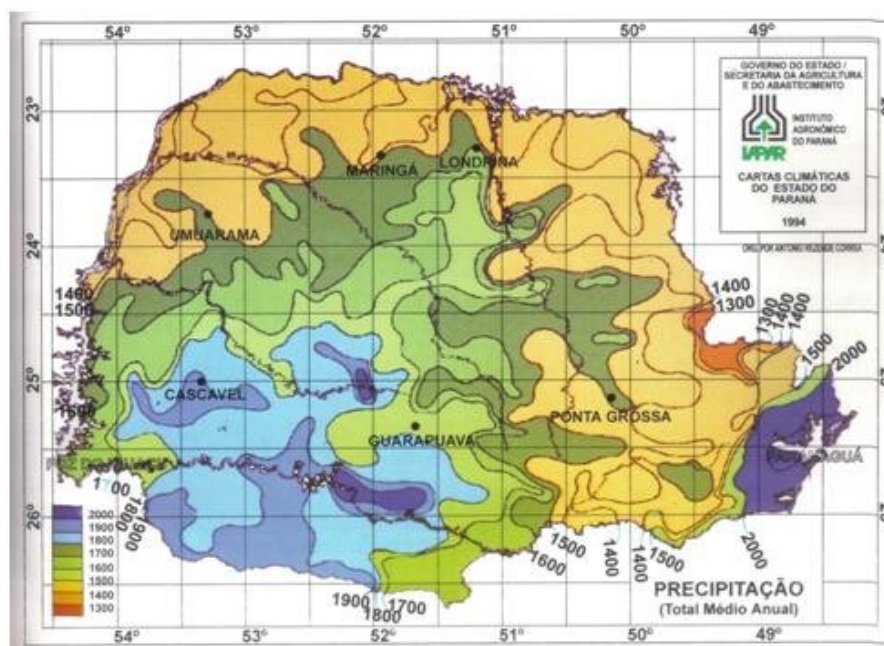


Figura 40: Precipitação anual

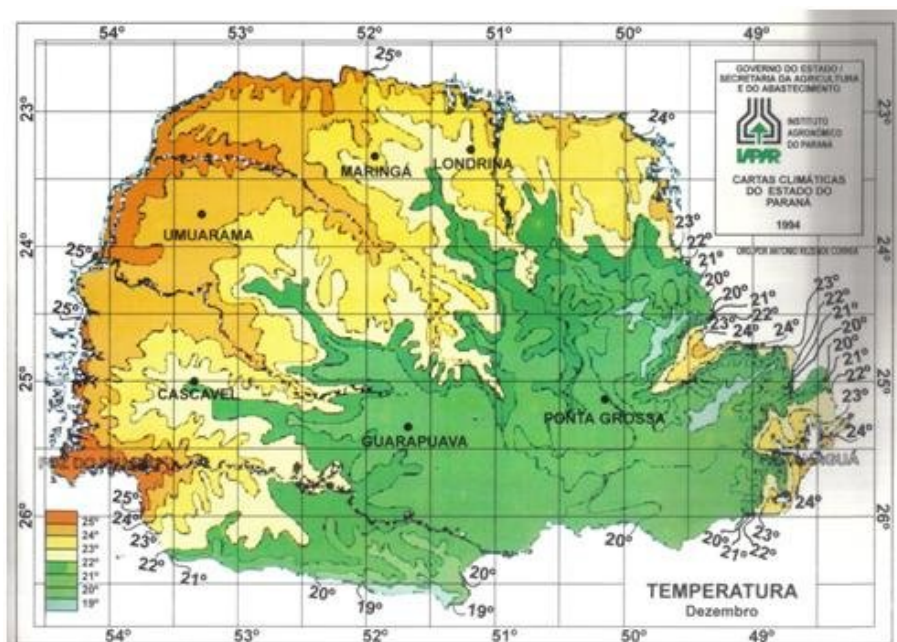


Figura 41: Temperatura do mês de Dezembro

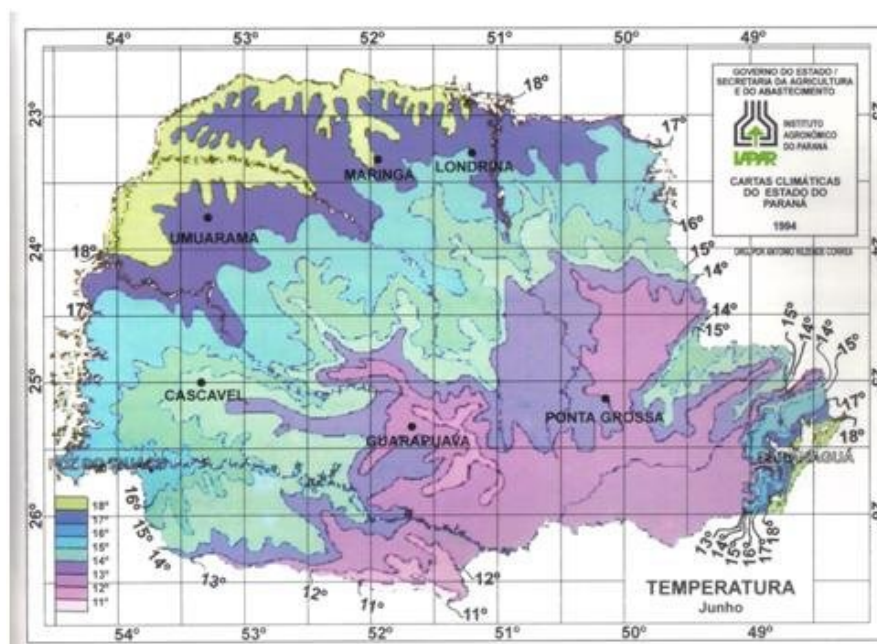


Figura 42: Temperatura do mês de Junho



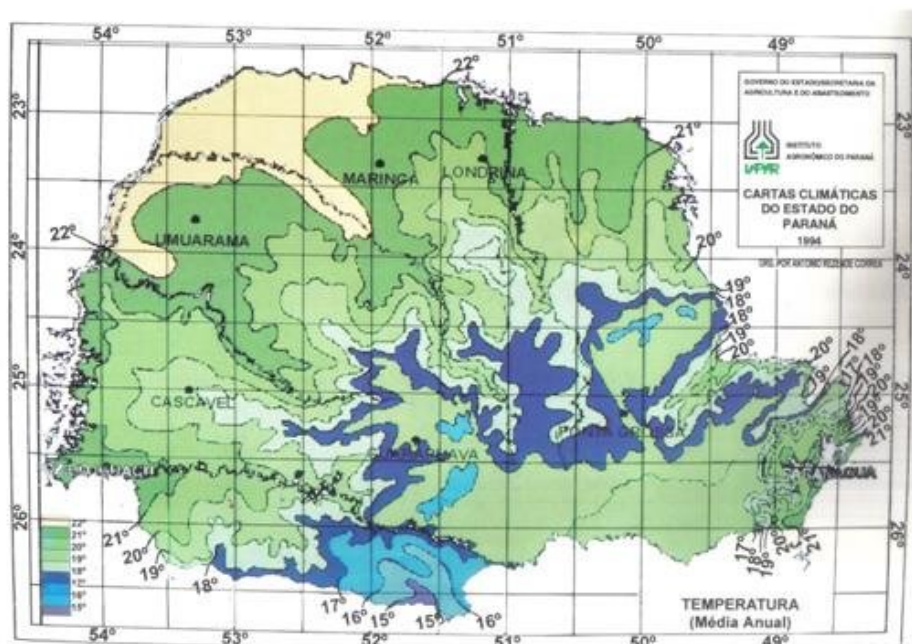


Figura 43: Temperatura anual

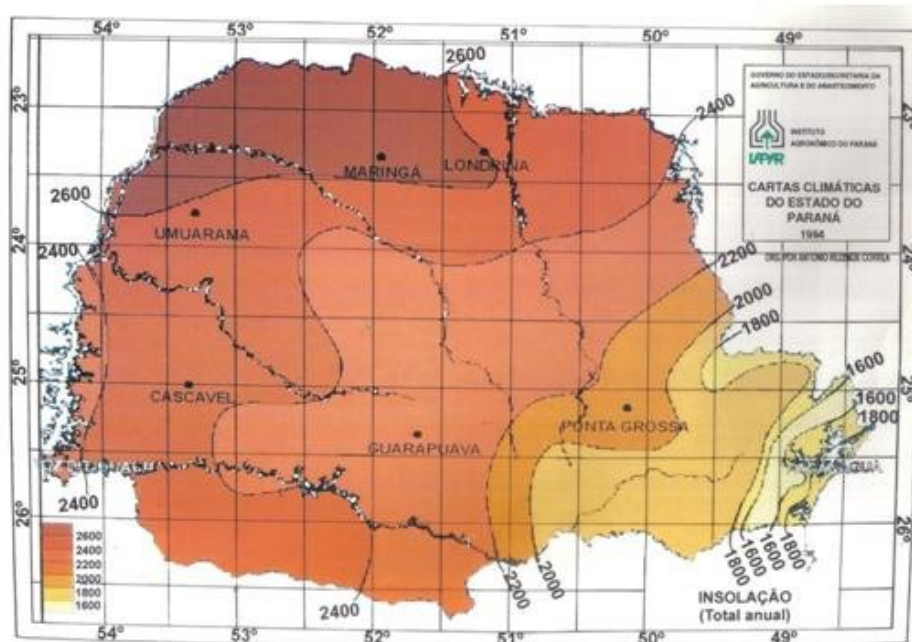


Figura 44: Insolação total anual

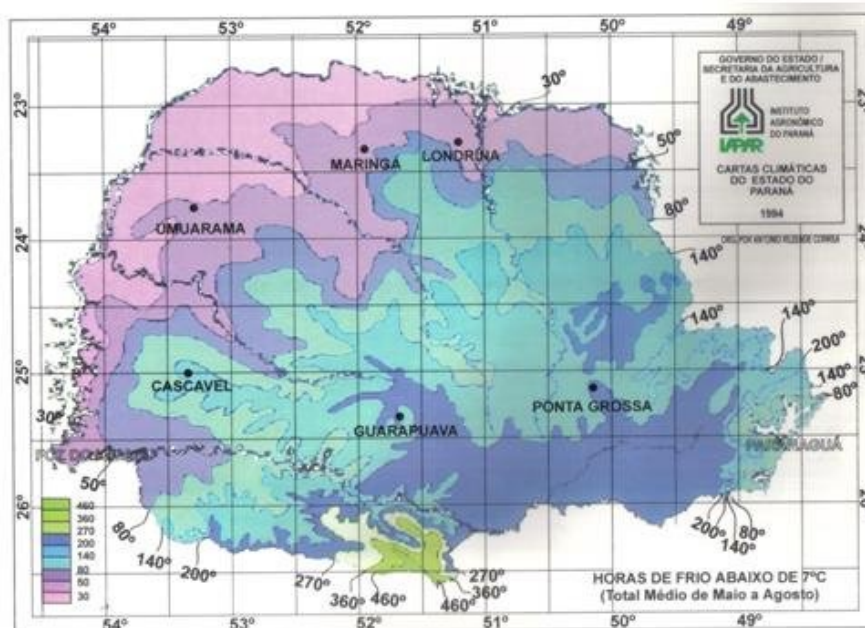


Figura 45: Horas de frio abaixo de 7°C

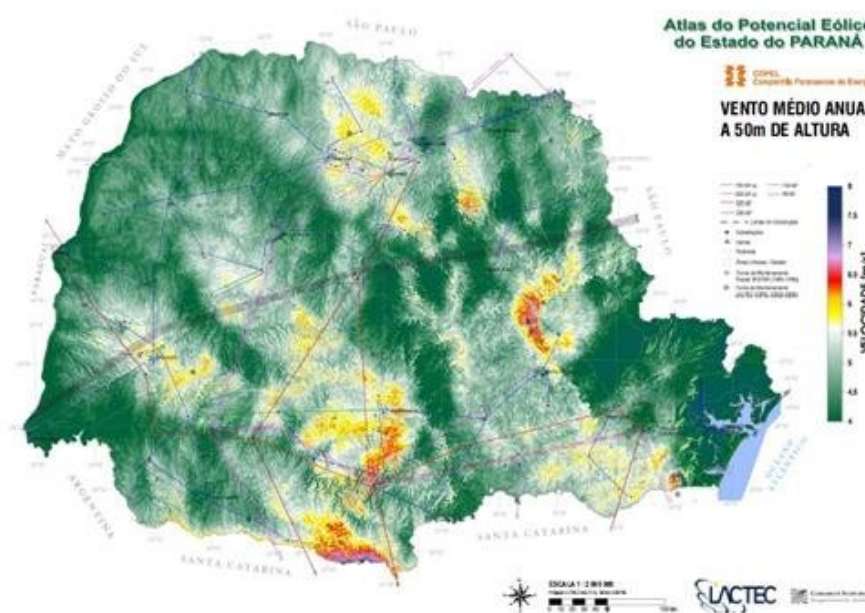


Figura 46: Mapa de potencial eólico do estado do Paraná